



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

STABILITA VSTŘIKOVÁNÍ DÁVEK DO VELIKOSTI 1D ŠNEKU

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Michal Filip**
Vedoucí práce: RNDr. Klára Císařová, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

STABILITY OF INJECTION-MOLDING OF SMALL DOSES WITH SCREW STROKE LESS THAN 1D

Bachelor thesis

Study programme: B2612 – Electrical Engineering and Informatics
Study branch: 2612R011 – Electronic Information and Control Systems
Author: **Michal Filip**
Supervisor: RNDr. Klára Císařová, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Filip**
Osobní číslo: **M10000091**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Stabilita vstřikování dávek do velikosti 1D šneku**
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedte literární rešerši v oblasti volby vstřikovacích dávek a související problematiky.
2. Porovnejte plastové materiály z hlediska reologie a viskoelastických vlastností.
3. Zhotovte zkušební tělíska/díly vstřikované v oblastech pod 1D a zároveň v ideální oblasti.
4. Provedte vyhodnocení vybraných vlastností zkušebních dílů/tělísek a porovnejte stabilitu dávek do 1D s doporučovými hodnotami.
5. Navrhněte vlastní SW řešení vyhodnocování měření a proveďte ekonomickou rozvahu jeho případného nasazení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **30–40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] Krebs, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů . Liberec : TU v Liberci, 2001
- [2] Hendl, J.: Přehled statistických metod zpracování dat, Portál, s.r.o. 2006
- [3] Zeman, L.: Vstřikování plastů, BEN - technická literatura, 2009
- [4] Tadmor, Z - Gogos, L.: Principles of polymer processing. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.
- [5] Odborné články zabývající se tématem práce

Vedoucí bakalářské práce:

RNDr. Klára Císařová, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

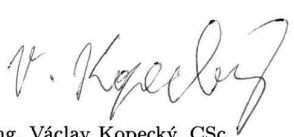
Konzultant bakalářské práce:

Ing. Pavel Petera


Magna Exteriors & Interiors s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2014**


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2013

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 15.5.2014

Podpis:



Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá rozhodnutím stability vstřiku pod 1D velikosti dávky šneku, chování dílů při nenaplněné formě a návrhem softwaru na vyhodnocování měření. Zda vstřikování pod 1D šneku bude stabilní, rozhodne porovnáním dílů vyrobených na dvou strojích s možností dávky pod 1D šneku a výlisků na vstřikovacím lise při optimální dávce. Během těchto měření se bude na obou strojích měnit nastavení, aby se docílilo různého naplnění formy a tím se porovnálo chování výrobků při nenaplněné formě. Veškerá naměřená data se zaznamenají a vypočtou se z nich statistické údaje. Na jejich základě se rozhodne o stabilitě vstřikování pod 1D dávky šneku. V závěrečné části je návrh systému, který bude vyhodnocovat naměřená data. Nashromážděná data se v programu statisticky vyhodnotí a bude je možno uložit do předdefinovaných souborů.

Klíčová slova

Vstřikovací lis, Velikost dávky, Statistika, Sběr dat, SW vyhodnocení měření

Abstrakt

This thesis deals with the decision of the stability of injection below the 1D dose screw, with the behavior of parts in the form of unfulfilled and with the software design for measurement evaluation. Whether the injection under the 1D dose screw will be stable, it will be decided by comparing parts produced on a machine with the possible dose below 1D screw and pressed pieces on an injection press at optimal dose. During these measurements on both machines will be changed the settings to achieve different fill the mold and thus it will be compared the behavior of products from unfilled form. All measured data will be recorded and from them will be calculated statistic figures. On the basis of the measured data will be decided the stability of the injection below 1D dose screw. In the final part is a design of a system that will evaluate the measured data. The collected data will be statistically evaluated in the program and it will be possible to store them into predefined files in a single folder.

Keywords

Keywords, Injection molding, Doses size injection, Statistics, Data Collection, SW measurement evaluation



Obsah

Obsah.....	6
Seznam obrázků	9
Seznam grafů.....	10
Seznam tabulek	11
Úvod.....	12
1 Přehled technologií pro zpracování plastů	13
1.1 Tvářecí technologie	13
1.2 Tvarovací technologie	14
1.3 Doplňkové technologie.....	14
2 Technologie vstřikování.....	15
2.1 Popis vstřikovacího lisu.....	15
2.1.1 Vstřikovací jednotka	15
2.1.2 Uzavírací jednotka.....	19
2.1.3 Řídicí a regulační systém stroje	19
2.1.4 Forma	19
2.2 Průběh výrobního cyklu.....	20
3 Vlastnosti plastických hmot	23
3.1 Reologické vlastnosti.....	23
3.2 Viskoelastické vlastnosti	26
3.2.1 Elastické materiály	26
3.2.2 Viskózní materiály	28
3.2.3 Viskoelastické materiály	28
4 Volba vstřikovací dávky.....	31
4.1 Velikost dávky.....	31
4.2 Polštář	32



5	Návrh zkoušek pro ověření stability vstřikování.....	34
6	Vstřikování v oblasti 1D šneku	36
6.1	Výlisek s 20% naplněním formy (bez dotlaku)	37
6.2	Výlisek s 40% naplněním formy (bez dotlaku)	38
6.3	Výlisek s 60% naplněním formy (bez dotlaku)	39
6.4	Výlisek s 85% naplněním formy (bez dotlaku)	40
6.5	Výlisek se 100% naplněním formy (s dotlakem)	40
7	Vstřikování v optimálním rozsahu šneku.....	42
7.1	Výlisek s 20% naplněním formy (bez dotlaku)	42
7.2	Výlisek s 40% naplněním formy (bez dotlaku)	43
7.3	Výlisek s 60% naplněním formy (bez dotlaku)	44
7.4	Výlisek s 85% naplněním formy (bez dotlaku)	45
7.5	Výlisek se 100% naplněním formy (s dotlakem)	46
8	Porovnání vlivu vstřikovacích strojů.....	48
8.1	Porovnání strojů při 20% naplnění formy	48
8.2	Porovnání strojů při 40% naplnění formy	49
8.3	Porovnání strojů při 60% naplnění formy	49
8.4	Porovnání strojů při 85% naplnění formy	50
8.5	Porovnání strojů při 100% naplnění formy	51
9	Softwarové řešení vyhodnocování měření	53
9.1	Návrh automatizace pro Mettler Toledo PG-5002-S.....	53
9.1.1	LocalCAN	54
9.1.2	Výhody LocalCAN	54
9.1.3	RS 232	55
9.2	Chod programu	56
9.2.1	Nastavení měření.....	56
9.2.2	Výběr výrobku.....	57



9.2.3	Zadání hodnot.....	57
9.2.4	Zobrazení dat (graf, tabulka, statistka).....	58
9.2.5	Uložení dat	60
	Závěr.....	61
	Použitá literatura	63
	Příloha A- Seznam naměřených hodnot a statistických údajů	66
	Příloha B - Parametry ovlivňující vlastnosti výlisku	77
	Příloha C - Základy statistiky.....	81
	Příloha D – Obsah přiloženého CD.....	85
	Přiložené CD	



Seznam obrázků

Obrázek 1: Negativní tvarování [2].....	14
Obrázek 2: Pozitivní tvarování [2]	14
Obrázek 3: Vstřikovací lis.....	15
Obrázek 4: Vstřikovací jednotka[5]	16
Obrázek 5: Uzavírací jednotka [6]	19
Obrázek 6: Panel pro řízení a regulaci stroje[6].....	19
Obrázek 7: Forma pro vstřikování [6].....	20
Obrázek 8: Průběh vstřikovacího cyklu [6].....	22
Obrázek 9: Závislost dynamické viskozity na smykové rychlosti [12]	24
Obrázek 10: Plastometry [5]	25
Obrázek 11: Forma pro spirálovou zkoušku a zkušební spirála [6]	25
Obrázek 12: Vliv vybraných parametrů na tokové křivky [12]	26
Obrázek 13: Grafické definice Hookova zákona[14].....	27
Obrázek 14: Grafické znázornění Tucketa modelu[15]	29
Obrázek 15: Průběh deformace viskoelastického tělesa [15].....	30
Obrázek 16: Vstřikovací rozsah [6]	32
Obrázek 17: Princip kontroly polštáře [4].....	33
Obrázek 18: Polštář v platikačním válci [6].....	33
Obrázek 19: Mettler Toledo PG 5002-S [22].....	35
Obrázek 20: Ilustrativní fotka ozdobné lišty	36
Obrázek 21: Možnosti komunikace váhy[24]	54
Obrázek 22: 4-Pin Local CAN[23]	55
Obrázek 23: Připojení konekturu[23].....	55
Obrázek 24: RS 232[23].....	55
Obrázek 25: Nastavení odchylek.....	56
Obrázek 26: Nastavení měření	56
Obrázek 27: Zobrazení zvoleného výrobku	57
Obrázek 28: Zadání nového výrobku	57
Obrázek 29: Hlavní panel programu	58
Obrázek 30: Vykreslení grafu v programu.....	58
Obrázek 31: Záložka tabulka.....	59
Obrázek 32: Záložka statistika	60



Seznam grafů

Graf 1: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 20% naplnění formy.....	37
Graf 2: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 40% naplnění formy.....	38
Graf 3: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 60% naplnění formy.....	39
Graf 4: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 85% naplnění formy.....	40
Graf 5: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 100% naplnění formy.....	41
Graf 6: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 20% naplnění formy.....	43
Graf 7: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 40% naplnění formy.....	44
Graf 8: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 60% naplnění formy.....	45
Graf 9: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 85% naplnění formy.....	46
Graf 10: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 100% naplnění formy.....	47
Graf 11: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (20% naplnění formy).....	48
Graf 12: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (40% naplnění formy).....	49
Graf 13: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (60% naplnění formy).....	50
Graf 14: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (85% naplnění formy).....	51
Graf 15: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (100% naplnění formy).....	52



Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry Mettler Toledo PG 5002-S [22]	35
Tabulka 2: Parametry vstřikování (1D šnek)	37
Tabulka 3: Technologické parametry	42
Tabulka 4: Signály Local CAN	55
Tabulka 5: Signály RS 232	55
Tabulka 6: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 20%	67
Tabulka 7: statistika při 20% naplnění formy	67
Tabulka 8: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 40%	68
Tabulka 9: statistika při 40% naplnění formy	68
Tabulka 10: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 60%	69
Tabulka 11: statistika při 60% naplnění formy	69
Tabulka 12: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 85%	70
Tabulka 13: statistika při 85% naplnění formy	70
Tabulka 14: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy ze 100%	71
Tabulka 15: statistika při 100% naplnění formy	71
Tabulka 16: Vyhodnocení hmotnosti pro 20% naplnění formy	72
Tabulka 17: statistika při 20% naplnění formy	72
Tabulka 18: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 40%	73
Tabulka 19: statistika při 40% naplnění formy	73
Tabulka 20: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 60%	74
Tabulka 21: statistika při 60% naplnění formy	74
Tabulka 22: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 85%	75
Tabulka 23: statistika při 85%	75
Tabulka 24: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 100%	76
Tabulka 25: statistika při 100% naplnění formy	76



Úvod

Plastikářský průmysl je jeden z nejrychleji se rozvíjejících průmyslů vůbec. Poptávka na plastické hmoty je vyšší než u kovu a to asi o 20%. Díky stále zvyšující se poptávce na nové projekty se rapidně zvyšuje tlak na vývoj technologií a zlepšování plastických hmot. Dnešním trendem je nahradit kovy plasty.

Firma Magna Exteriors & Interiors (Bohemia) se zabývá vstřikováním součástek do aut. Převážné množství vstřikovacích lisů se v Magně využívá na lisování velkých součástek, jako jsou například nárazníky pro auta nebo palubní desky. Velký problém však nastává při výrobě menších součástek s hmotností několika gramů. Vstřikovací dávka by se měla pohybovat od 1D až do 3D. Je logické, že menší díl musí mít menší dávku než velký díl. Musí se dodržet pravidlo velikosti dávky, aby se materiál zbytečně nehomogenizoval v platikačním válci, tím by postupem času došlo k degradaci materiálu, což je velice neekonomické a ovlivňovalo by to kvalitu výlisku. V platikačním válci by mělo zůstat jen minimální množství taveniny, které označujeme jako polštář. Jedním z řešení je pořídit vstřikovací lis s menším průměrem šneku, aby bylo možné vstřikovat v optimální oblasti. Bohužel v dnešní době jsou vstřikovací centra velice nákladnou záležitostí. Jejich cena se pohybuje v řádu několika milionů dolarů. Tento nákup by se vyplatil jen tehdy, pokud by v budoucnu bylo možné použít ho i na jinou výrobu, v opačném případě je tato investice zbytečná. Jednou z posledních možností je vstřikování pod 1D šneku v nedoporučené oblasti vstřikování, kdy by mohl být problém se stabilitou vyrobených dílů nebo jinak řečeno s kvalitou výrobků. Touto problematikou se bakalářská práce bude dále zabývat.

Při těchto zkouškách by také firma ráda zjistila, jak se chovají výrobky, které nejsou vyrobeny při úplném naplnění formy. Tímto problémem se již zabývá vývojové středisko v Magně. Tato bakalářská práce by měla dát první náhled do problému. Důvod těchto zkoušek je prevence, aby se zjistilo, jak moc musí být naplněna forma, aby ještě vyhověla nárokům na kvalitu. Nedostatečné naplnění formy může v provozu nastat díky několika faktorům např. při nedostatečném přísunu materiálu nebo při zatuhnutí plastu na špičce vstřikovacího stroje.

Pro rychlejší a efektivnější kontrolu kvality byl firmou Magna zadán návrh na zlepšení kontroly kvality výrobků. Proto je závěr práce věnován návrhu softwaru, který bude sbírat nashromážděná data a to buď pomocí propojení měřících přístrojů se softwarem přes sériové



linky anebo v případech, kde není dostupné sériové rozhraní, tak manuálním zadáním měřených hodnot do programu. Všechna naměřená data se budou ukládat do centrálního adresáře.

1 Přehled technologií pro zpracování plastů

1.1 Tvářecí technologie

„Jedná se o technologie, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zásadním způsobem, tzn., že dochází k přemísťování částic materiálu. Tváření probíhá za působení vysokých teplot a tlaku anebo obou vlivů současně. Výsledkem je buď konečný výrobek nebo polotovar pro další zpracování.“[1]

Mezi hlavní zástupce této skupiny patří vstřikování. Tato technologie bude podrobněji probírána v dalších kapitolách. Od popisu stroje, přes podrobný popis celého výrobního cyklu až k vlastnostem ovlivňující konečný výlisek. Pro úplnost kapitoly bude vysvětlen i základní princip vstřikování, který zní takto: Hmota v plastickém stavu se pod tlakem vstřikuje do formy. Tavenina se ve formě ochlazuje až do vychlazení výrobku, kdy je výrobek možné vyjmout z formy. Touto technologií se vyrábí např. součástky do elektroniky, nárazníky do aut a mnoho dalších výrobků.

Další technologií v této skupině je vytlačování. Tato technologie se vyznačuje kontinuální výrobou. Mezi hlavní výrobky patří hadice a trubky různých průměrů a profilů. Dále se takto vyrábějí plastové desky, které se následně mohou upravit na požadovaný rozměr. Tyto výrobky mohou být již konečné nebo jen polotovary, které se použijí pro další zpracování. Tato technologie má jednoduchý princip. Materiál v plastickém¹ stavu se kontinuálně tváří (nepřetržitě) přes profilovací otvor (hubici) do volného prostoru. Tvar vytlačeného profilu se fixuje snížením teploty plastu. Potřebný tvářecí tlak se získá otáčením šneku.

Na podobném principu funguje vyfukování plastů, kde se stejným principem vytlačí plast trubkovitého tvaru tzv. parita. Po dosažení určité délky parity se tento kus plastu sevře do formy, kde se pomocí tlaku vzduchu vytvaruje podle dutiny formy. Touto technologií se vyrábějí cyklistické lahve nebo lahve na saponáty.

Tyto čtyři technologie jsou nejvíce rozšířené, a proto byly jejich principy probírány podrobněji. Další technologií, která se řadí do této skupiny, je například lisování, kde principem je zahřátí plastu na přibližnou teplotu 150°C (teploty se mohou lišit v závislosti na použitém

¹ Hmota zahřátá na teplotu, kdy se dá dobře tvarovat, ale má stále dobrou soudržnost.



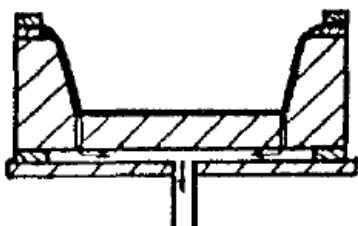
materiálu). Jakmile se plast rozehřeje, je vhodný na tvarování za zvýšeného tlaku a může se vytvarovat do požadovaného tvaru. Takto se vyrábějí například teflonové povlaky na pánve. Dále do této kategorie patří lití. Tato technologie se rozděluje na gravitační lití (využívá se tíhy roztavené plastické hmoty) nebo odstředivé lití - touto technologií se vyrábějí kulaté a duté výrobky jako jsou např. duše, míče. Princip odstředivého lití je, že se do formy naleje materiál v plastickém stavu a forma se pak začne otáčet kolem všech svých os.

1.2 Tvarovací technologie

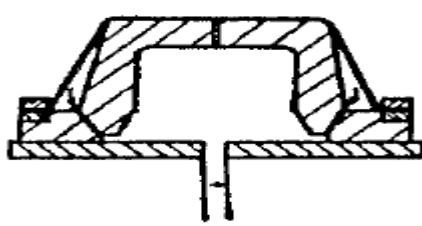
„Zahrnují se sem technologie, u kterých se vychází z polotovarů a hmota mění tvar bez velkého přemísťování částí. Může se uplatnit vliv zvýšené teploty i tlaku, ale nemusí.“ [1] Tuto skupinu reprezentuje především tvarování, které se dá rozdělit na pozitivní a negativní.

Negativní (do tvárnice): Princip této technologie je, že deska se neprodyšně upne do rámu, nad desku přijede ohřívací zařízení a po dosažení tvarovací teploty se odsune. Z prostoru mezi deskou a stěnami formy se odsaje vzduch. Vytvořeným vakuem přijme deska tvar dutiny formy. Po ochlazení se výrobek vyjme ručně nebo tlakem vzduchu. Používá se pro mělké výrobky.

Pozitivní (na tvárník): Postup je obdobný jako u negativního tvarování, jen s tím rozdílem, že se tvaruje do tvárníku. Tento postup se používá na výrobu hlubších nádob.



Obrázek 1: Negativní tvarování [2]



Obrázek 2: Pozitivní tvarování [2]

1.3 Doplnkové technologie

Poslední skupina tvarování se zabývá závěrečnými operacemi, které se provádí na konečných výrobcích, jako např. lepení, sváření, potiskování a natírání. Patří sem také recyklace plastu, což je proces renovace zbytkových nebo odpadních plastů a zařazení materiálu do užitečných produktů, někdy úplně odlišných ve formě od jejich původního stavu. Například to může znamenat roztavení PET lahví a jejich odlévání jako židlí a stolů. Typicky



se plasty nerecyklují do stejného typu plastu a produkty vyrobené z recyklovaných plastů nejsou někdy recyklovatelné.“ [3]

2 Technologie vstřikování

Tato technologie je nejrozšířenější díky velké škále výrobků, které může nabídnout např.: součástky pro elektroniku, nárazníky pro automobily a mnoho dalších výrobků, které používáme v každodenním životě. Princip vstřikování bude podrobněji vysvětlen v následujících kapitolách. Budou popsány části vstřikovacího lisu, celý výrobní cyklus a v neposlední řadě i parametry, které ovlivňují konečný výlisek. Velký důraz při rozboru technologie bude kladen na volbu vstřikovací dávky a problematiku s tímto parametrem spojené.

2.1 Popis vstřikovacího lisu

Stroje pro výrobu vstřikovaných součástek se skládají ze tří základních částí. Každá z částí bude upřesněna v jednotlivých podkapitolách. Stroje se liší velikostí a parametry. Tyto parametry jsou pak důležité pro volbu výrobků, které se budou na stroji vyrábět. Tento popis je klíčový pro následné pochopení cyklu stroje.



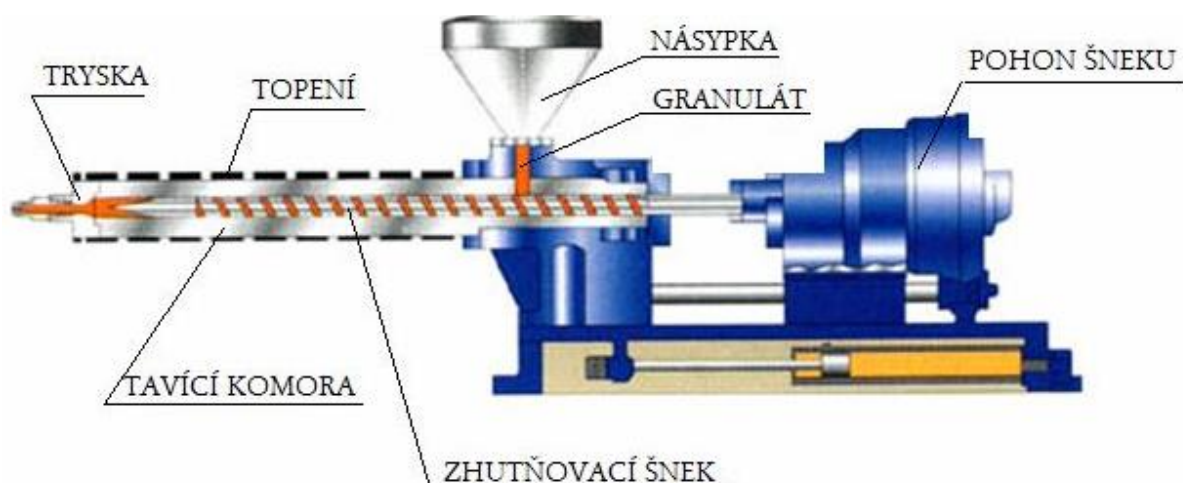
Obrázek 3: Vstřikovací lis

2.1.1 Vstřikovací jednotka

Tato jednotka zajišťuje perfektní uzavření formy, aby při vstřikování nedošlo k pootevření formy v důsledku velkého vstřikovacího tlaku. Proto platí, že uzavírací tlak musí



být větší, než tlak vstřikovací. U starších nebo u nenáročných výrobků je k uzavírací jednotce přidružen i vyhazovací systém. Ten má za úkol bez poškození vyjmout vylisek z formy



Obrázek 4: Vstřikovací jednotka[5]

1. Násypka

Násypka slouží ke stálému přísunu granulovaného materiálu do tavicí komory. Při sériové výrobě se používá automatické doplňování. Pro přesné doplnění materiálu může sloužit regulátor, který pomocí kapacitních senzorů hlídá množství materiálu v násypce a při dosažení minimální hodnoty materiálu pomocí tzv. „vysavače“, nasaje materiál z centrálního skladu materiálu nebo ze zásob přímo u stroje. Díky této technice je doplňování materiálu plně automatické.

2. Granulát

Granulát se také často označuje jako traverza. V této části je materiál naposledy v granulovaném stavu. Je to důležitý prvek, neboť granulát je tu chlazen často vodou a udržuje se zde v pevném stavu před tím, než vnikne do tavicí komory a to proto, aby se nezačal roztavovat již v násypce, kde by mohl vytvořit tzv. „špunt“ a přerušit tím přísun materiálu do tavicí komory.

3. Tavicí komora

Jak je vidět na obrázku 4, tavicí komora je válcovitého tvaru a je největší částí na vstřikovací jednotce, která je vyrobená z kalené oceli. Díky tomu může odolat vysokým teplotám. Velikost tavicí komory společně se šnekem udává maximální velikost vstřikovací



dávky. Při vstupu granulátu do komory se materiál začíná okamžitě roztavovat vlivem tření o stěnu tavicí komory a sám o sebe, což je většina energie potřebná k přivedení plastu do plastického stavu. Úplnou teplotní homogenizaci zajistí topení, které vede vnějškem okolo celé tavné komory.

4. Topná tělesa

Topná tělesa, jak již bylo v předešlé části řečeno, pomáhají vytvořit teplotně homogenní taveninu. Topná tělesa se rozdělují na tři až čtyři teplotní zóny, záleží na velikosti tavicí komory, s výkonem „ $5,5 \text{ W/cm}^2$ “. „[6] Teploty se pohybují cca od 205°C do 220°C , záleží na typu zpracovávaného materiálu. Tolerance teplotních zón jsou hlídány pomocí odporových snímačů, které jsou umístěny v dutých otvorech tavicí komory. Tento typ uložení snímače bohužel do regulace zanáší chybu, protože se měří teplota stěny válce a ne přímo teplota taveniny. Pro odstranění chyby by bylo lepší, kdyby byl snímač přímo v tavicí komoře, bohužel takové teploty by málokterý snímač vydržel nebo by byl cenově nevýhodný. Hodnoty ze snímačů jsou přenášeny do centrální jednotky, kde se zobrazí na obrazovce a zároveň se z nich vyhodnocuje regulační odchylka.

5. Zhutňovací šnek

Zhutňovací šnek je vyroben z odolné oceli, která musí odolat velké teplotě a tlaku uvnitř tavicí komory a dále musí být odolný vůči oděrům. Nesmí se z něj v žádném případě odlamovat kousky, protože by mohly poškodit tavicí komoru a v horším případě by mohlo dojít ke vstřiku materiálu společně s úlomky a tím dojít i k poškození formy. Každý zhutňovací šnek je složen ze tří zón.

1. Zóna plnění – „v tomto prostoru šneku je materiál ve formě granulátu nebo prášku nabírán do závitu a v něm stlačován. Díky teplu, který válci dodávají topné pásy, se po několika závitech šneku začne na stěnách válce tvořit vrstvička taveniny“. [7]

2. Zóna komprese – „Pevná látka se působením tepla od vytápěného válce i frikčním teplem daným třením materiálu o stěny dále zahřívá a postupně měkne a natavuje se. Vznikající tavenina se působením čela závitu neustále stírá ze stěn válce a mísí se zbylým materiálem.“ [7]

3. Zóna dávkování – „tato zóna má podobně jako zóna plnění konstantní hloubku závitu šneku. Proces rozpouštění by již měl být ukončen na konci kompresní zóny. V zóně dávkování by měl být materiál již jen dokonale promíchán“ [7]



Tryska

Vstřikovací tryska nám zajišťuje propojení mezi tavicím válcem a dýzou². Každá forma je jinak rozměrově koncipována, tím i trysky musejí být různých rozměrů, aby dopravily taveninu do formy bez zbytečných ztrát. V některých případech je zapotřebí vytápění trysky. K tomu se využívají topná tělesa, která jsou regulována přímo z centrálního řízení stroje nebo externím regulátorem. Rozlišují se tři druhy vstřikovacích trysek: volné, uzavíratelné a uzavíratelné s možností odstříku do volného prostoru. Volná vstřikovací tryska se používá pro méně tekuté materiály nebo pro nenáročné výrobky. Bohužel materiál má pořád možnost samovolně vytékat z tavicí komory. Naopak uzavíratelné trysky zamezují volnému vytékání taveniny mimo tavicí komoru. Otevření trysky proběhne po dosednutí na dýzu a přtlakem vstřikovací jednotky. Tryska s možností odstříku pracuje na skoro stejném principu jako uzavíratelná tryska, s výhodou možnosti odstříku taveniny před vstřikováním. Je to dosaženo konstrukcí trysky, která se otevře při pootočení o 90°.

6. Pohon šneku

Důležité je si na začátku říci, že šnek koná dva pohyby a to rotační a axiální. Tyto pohyby zajišťují motory. V drtivé většině strojů se používají hydraulické motory. Jejich velkou výhodou je možnost plynule regulovat otáčky bez velkých regulačních zařízení. Pokud to však provoz vyžaduje, je možnost využít elektromotory. Pro axiální pohyb je možné využít lineárních elektromotorů, naopak rotační pohyb „*zajišťuje elektromotor s převodovkou, kde výkon motoru se může například pohybovat od 30 kW s použitím maximálně do 4000kN. [8]*“ U vstřikovacích lisů je možné použít také pohony hybridní, které využívají přednosti hydraulických motorů a elektromotorů.

Srovnání elektropohonu s hydraulickým

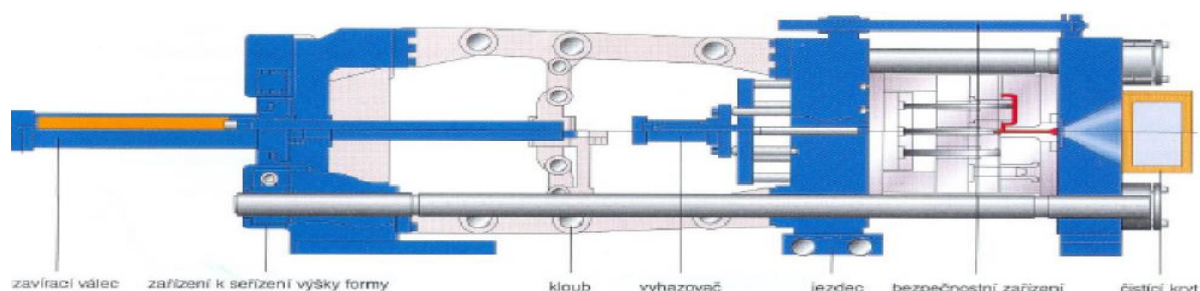
- „*Energetická úspornost (reálně 20 až 25% - reklamní marketing hovoří o 70%)*“
- *Vyšší účinnost el. pohonů, které pracují nezávisle a jsou zapnuté pouze během provádění vlastního pohybu stroje*
- *Nízká hlučnost, cena se snižuje z 50% na 20% z ceny hydraulických strojů*
- *Vyšší nároky na celkový instalovaný elektrický příkon, který je vyšší než příkon čerpadla hydraulického stroje [9]*

² Přesně vytvarované místo na formě pro dosednutí trysky.



2.1.2 Uzavírací jednotka

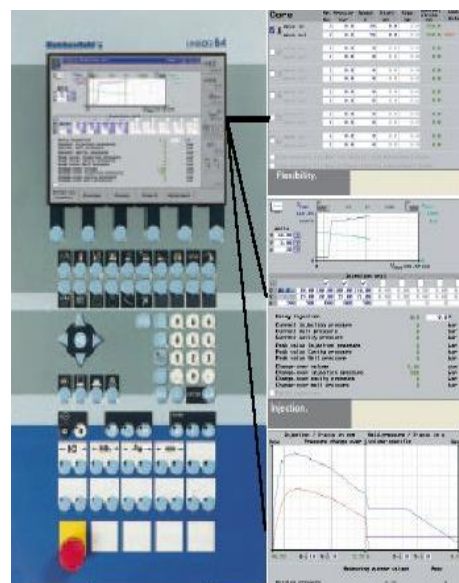
Tato jednotka zajišťuje perfektní uzavření formy, aby při vstřikování nedošlo k pootevření formy v důsledku velkého vstřikovacího tlaku. Proto platí, že uzavírací tlak musí být větší, než tlak vstřikovací. U starších nebo u nenáročných výrobků je k uzavírací jednotce přidružen i vyhazovací systém. Ten má za úkol bez poškození vyjmout výlisek z formy pomocí pevných dorazů. V moderním vstřikování se spíše používá hydraulické vyjímání výrobku. Každý vyhazovací kolík je ovládán pomocí hydrauliky nebo elektroniky, díky tomu se dají vyjímat i složitější výrobky bez poškození jako jsou například i automobilové nárazníky



Obrázek 5: Uzavírací jednotka [6]

2.1.3 Řídicí a regulační systém stroje

Tento systém je mozkiem celého vstřikovacího stroje. Nastavují se zde technologické parametry a ty je možno sledovat na centrální ovládací jednotce. Řídicí jednotka má za úkol regulovat všechny nastavené parametry a sbírat data ze všech snímačů po celém stroji. Z nashromážděných dat vyhodnotit zásahy do vstřikovacího cyklu a v případě nouze celý cyklus přerušit.



Obrázek 6: Panel pro řízení a regulaci stroje [6]

2.1.4 Forma

Tato část není součástí stroje, ale je to nástroj. Závisí na ní konečný tvar výrobku. Na každý vyrobený produkt se většinou vytváří originální forma. Z toho lze usuzovat, že výroba takové formy je jak časově, tak i finančně náročná. Celá forma se skládá z několika částí. Rozděluje se na tvárník a tvárnici. Na obrázku 7 je vidět na levé straně tvárník a na pravé straně tvárnici. Tvárnice většinou sebou nese systém vyhazovacích kolíků. Není to však pravidlem.



Někdy je výhodnější vyjmout výrobek z tvárníku. Přes celou formu je vytvořen systém chladících kanálků, které zajišťují temperování formy.



Obrázek 7: Forma pro vstřikování [6]

Jak již bylo v předešlých kapitolách naznačeno, většina vstřikovacích strojů je hybridně ovládána, což je spojení hydraulických a elektrických motorů. „Existují také plně elektricky řízené vstřikovací lisy. V roce 2008 firma Engel prodala přes 20 000 těchto strojů. V Evropě je každý šestý vstřikovací stroj s uzavírací silou 400 tun plně elektrický.“ [9] V dubnu 2013 firma Engel představila světu řadu plně elektronických vstřikovacích strojů typu E-mac. Díky elektrickému řízení lze dosáhnout opakovatelnosti pozice „jehož maximální odchylka je $\pm 0,02$ mm, v případě specifického tlaku senzor toleruje odchylku $\pm 0,5$ baru. K vyšší přesnosti strojů přispívá také uzavírání pomocí zpětného otočení šneku, tzv. Smartshut. To garantuje minimální odchylky v hmotnosti vylisku a je použitelné i při nejnižší rychlosti vstřiku a minimální dávce.“ [10]

2.2 Průběh výrobního cyklu

Cyklus lisování se dá shrnout do šesti bodů. Nejprve bude celý cyklus popsán a pro lepší pochopení vysvětlen na obrázcích. Důležité je si říci, že jeden cyklus stroje se počítá od jednoho uzavření formy k dalšímu uzavření.

1. Uzavírání formy

Vstřikovací cyklus začíná uzavřením obou polovin formy. Poté, co se forma uzavře, vybuduje stroj uzavírací sílu. Forma je takto dokonale uzavřena.



2. Přítlak trysky

Vstřikovací jednotka přijíždí tryskou na vtokový otvor formy a vytvoří nastavený přítlak trysky vstřikovací jednotky.

3. Vstřik a dotlak

Tavenina je připravená před šnekem na vstřikování. Vstřik do formy zajistí axiální pohyb šneku, který vytvoří vstřikovací tlak ve formě. Tuhnutí taveniny začíná v ústí vtoku formy. Aby se neobjevily propady, přepíná se stroj po naplnění dutiny formy na dotlak. Šnek pomalu dotlačuje taveninu již do zaplněné formy. Díky dotlaku lze eliminovat smrštění a propadliny, které jsou způsobeny chladnutím ve formě. Dotlak trvá až do úplného zatuhnutí taveniny.

4. Dávkování

Granulát padá z násypky do válce na nabírací zónu šneku. Šnek dopravuje materiál skrze vytopený válec směrem k trysce. Třecí síly mezi šnekem a zahřátou stěnou válce způsobí, že se před šnek dostává homogenní tavenina. Nastavitelný odpor šneku (zpětný tlak) pomáhá dobré a stejnoměrné plastifikaci. Po dosažení množství materiálu potřebného k naplnění formy se šnek přestane otáčet.

5. Odjezd trysky

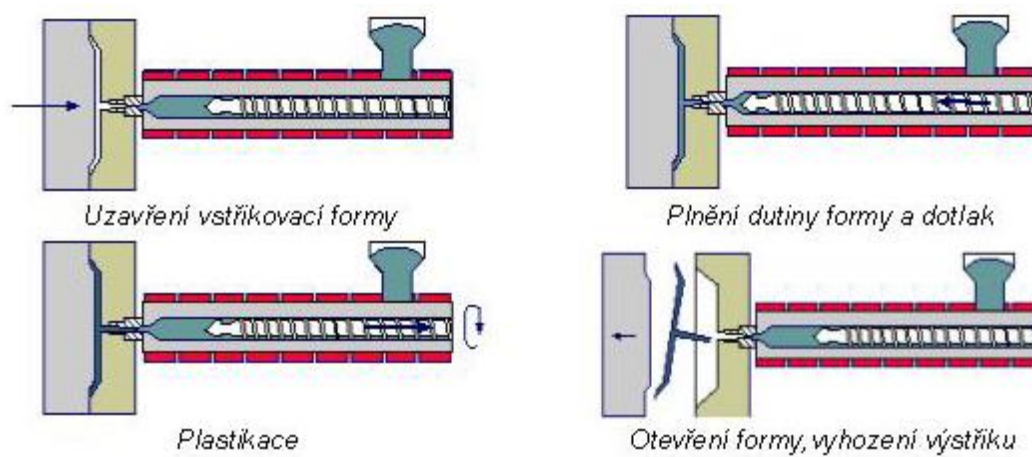
Tryska může dle potřeby od formy odjet, aby se oddělil vtok a nezahříval temperovanou formu.

6. Odformování

Forma se otevře na konci doby chlazení. Konečný výrobek ulpívá na části formy, která je pro odformování výlisku snadnější. Cílem je co nejrychleji a hlavně bez poškození vyjmout výlisek. Po úplném otevření formy (startovací pozice) se pomocí vyhazovacích kolíků odformuje forma. Po dokončení je stroj i nástroj připraven na další cyklus.

Po celou dobu cyklu je forma chlazena temperančním médiem, ve většině případů je to voda. Pokud je třeba chladit formu na teplotu vyšší než je bod varu vody, používá se speciální temperanční olej.





Obrázek 8: Průběh vstříkovacího cyklu [6]



3 Vlastnosti plastických hmot

Plastické hmoty jsou charakterizovány mnoha vlastnostmi, dají se rozdělit do několika skupin. V této práci se budeme podrobně zabývat pouze dvěma vlastnostmi a to reologické a viskoelastické. Ostatní vlastnosti, které provázejí vstřikování a tím i výsledný výlisek jsou: termodynamické, fyzikální a mechanické. Tyto vlastnosti budou upřesněny, ale pouze okrajově.

Termodynamické vlastnosti

Plastické hmoty jsou vysoce závislé na teplotě. Při roztavování a chlazení plastu dochází k tzv. přechodovým teplotám jako jsou teplota tání, teplota viskózního toku a teplota skelného přechodu. Při těchto teplotách dochází ke změnám vlastností.

Mechanické vlastnosti

Tyto vlastnosti jsou závislé na teplotě zpracování plastů a také na čase, protože až postupem času můžeme určit následné pevnostní charakteristiky.

Fyzikální vlastnosti

V této kategorii se kontrolují především tyto vlastnosti: hustota, tepelná vodivost, elektrické a optické vlastnosti atd.

3.1 Reologické vlastnosti

Reologie je nauka o toku materiálu, k jejímu vyjádření se používá tzv. viskozita, která udává odpor proti tečení. Tato vlastnost je velice důležitá při správném výběru materiálu pro výrobu a při konstrukci formy. „ *Pro popsání tokových vlastností se vychází ze základního vztahu pro Newtonovské kapaliny, která vyjadřuje vztah mezi smykovým napětím a rychlostí smykové deformace. (viz Rovnice 1) „[11].*

$$\tau = \eta \cdot D \quad \text{nebo} \quad \tau = \eta \cdot \frac{dv}{dx}$$

Rovnice 1: Tokové tečení [11]

τ - smykové napětí ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)

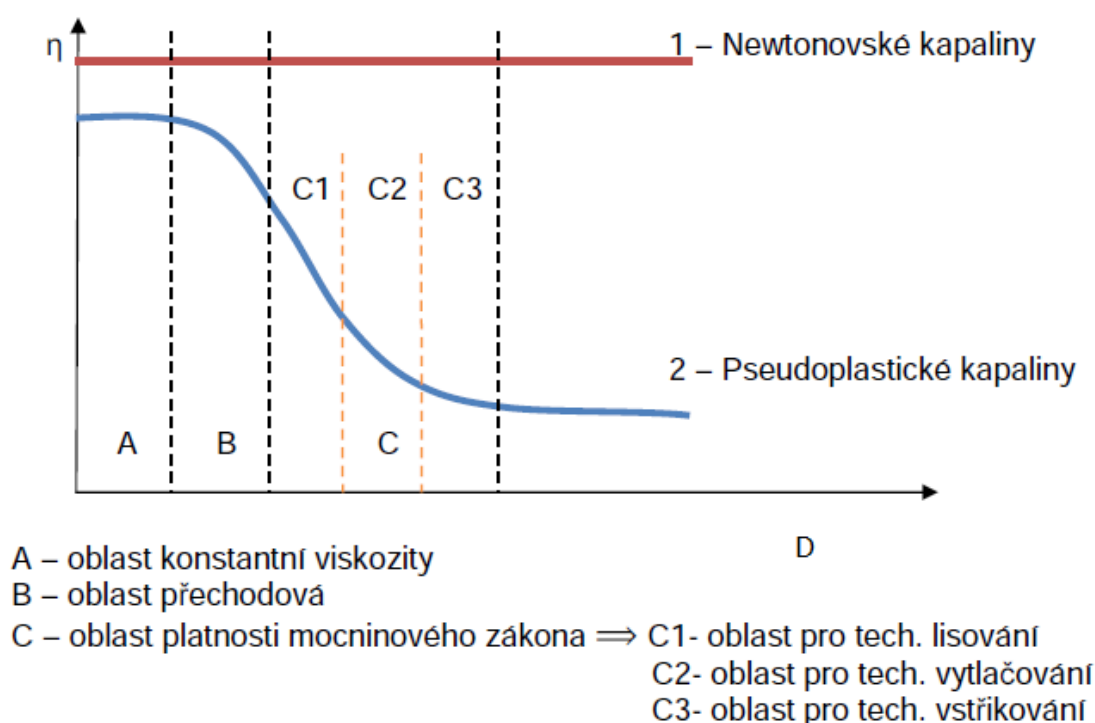
η – dynamická viskozita ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

D – smyková rychlost (s^{-1})

dv/dx – gradient smykové rychlosti (s^{-1})



„U newtonských kapalin je dynamická viskozita při konstantní teplotě nezávislá na smykovém tření ($\eta = \text{konstantní}$). Bohužel u reálných plastů tato poučka neplatí. Zde platí, že viskozita je funkcí smykové rychlosti $\Rightarrow \eta = f(D)$.“ [11]. Plasty používané při výrobě můžeme tedy z hlediska reologie rozdělit na dvě skupiny. „Pseudoplastické, kde viskozita klesá s rostoucím smykovým napětím, a dilatantní, kde platí, že viskozita roste se smykovým napětím.“ [12] K rozpoznání materiálu nám slouží tokové rovnice, jejich následná vizualizace je možná pomocí tzv. reogramů (obrázek 9). Podle reogramů můžeme určit několik oblastí, v nichž se zpracovávají plasty. Mezi nejdůležitější oblast patří tzv. oblast mocninného zákona (obrázek 9), „zde platí vztah, že smyková rychlost závisí na vztahu $D = \Phi \cdot \tau^m$, kde Φ a m jsou experimentálně naměřené konstanty pro daný materiál.“ [12]



Obrázek 9: Závislost dynamické viskozity na smykové rychlosti [12]

η – dynamická viskozita (Pa·s)

D – smyková rychlost (s^{-1})

Tokové chování tavenin se v praxi zjišťuje pomocí plastometrů a to buď vytlačovacím nebo rotačním plastometrem. Tento typ zkoušky se používá spíše v laboratorních podmínkách. „Test začíná roztavením přesného množství plastu ve válcové nádobě. Po roztavení se pomocí pístu taveniny vytlačuje přes trysku přesných rozměrů. Vytlačovací tlak se mění pomocí závaží, která se dají pokládat na vrchní část pístu. U moderních plastometrů se vytlačovací tlak volí



elektronicky. Pohyb pístu můžeme pozorovat na stupnici nádoby, ve které je roztavený materiál. Nádoba se reguluje na přesně stanovenou teplotu, která může kolísat $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Po splnění všech těchto podmínek se počítá objem, který proteče přes trysku za určitou dobu.“ [11] Díky plastometrům se dá také určit další parametr reologie, to je index toku taveniny neboli zkráceně ITT. „Jeho přesné znění je dáno v normě ČSN 64 0861. ITT udává množství taveniny v gramech, které proteče tryskou za 10 minut při stanovených podmínkách (předepsaná teplota a konstantní tlak). Z této zkoušky je možné určit, že čím vyšší ITT tím vyšší tekutost materiálu.“ [12]



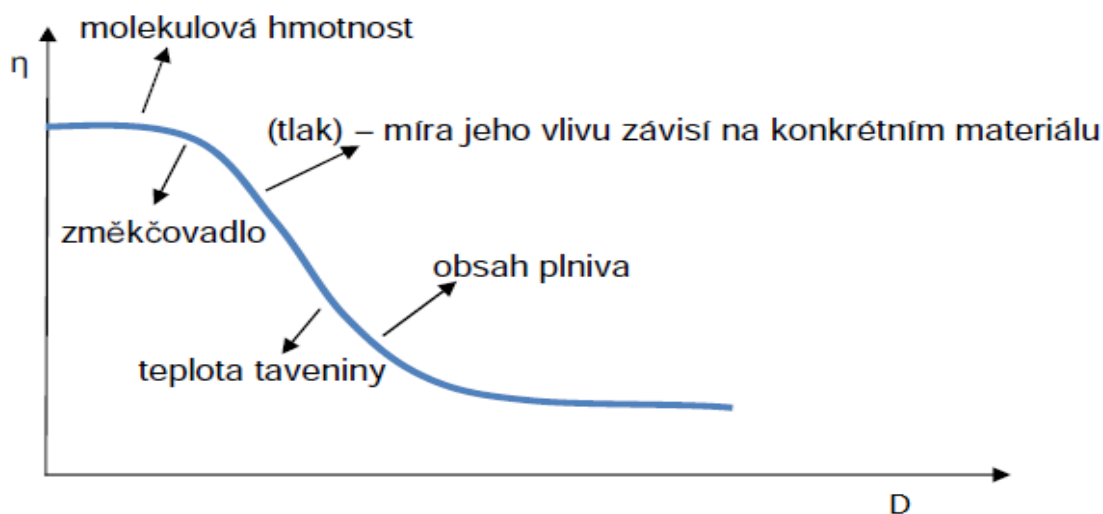
Obrázek 10: Plastometry [5]

Přímo v provozu se dá také určit viskozita materiálu a to tzv. spirálovou zkouškou zabíhavosti. Princip zkoušky je podobný samotnému vstřikování, jediný rozdíl je ve formě. „Tvar dutiny formy má tvar Archimedovy spirály.“ [11] Zkouška probíhá při předepsaných technologických podmínkách. Přesné množství taveniny se v tavné komoře naplastikuje za určitých teplot. Pomocí přesně stanoveného vstřikovací tlaku se vstříkne do dutiny formy. Samotná forma má také předepsanou svoji teplotu. Obecně řečeno se měří, jak daleko zateče daný materiál za daných podmínek. Na tomto typu zkoušky se dá určovat přibližné nastavení technologický parametrů.



Obrázek 11: Forma pro spirálovou zkoušku a zkušební spirála [6]

Na tokové křivky má vliv několik parametrů jako jsou například molekulová hmotnost, tlak, teplota tání a přísady (změkčovadla, plniva). Jejich vliv je znázorněn na obrázku 12.



Obrázek 12: Vliv vybraných parametrů na tokové křivky [12]

η – dynamická viskozita (Pa·s)

D – smyková rychlost (s^{-1})

3.2 Viskoelastické vlastnosti

Viskoelastická materiálu souvisí se schopností materiálu tlumit mechanické vibrace, které vyjadřují vztah mezi vnější silou a deformací materiálu. „Uvažuje-li se harmonicky dynamické namáhání (tzn. střídavě v tahu a tlaku) materiálu v oblasti elastických deformací. Při takovém namáhání se napětí i poměrná deformace všeobecně mění s časem. Poměrná deformace $\varepsilon(t)$ má přitom určité fázové zpoždění vůči působícímu napětí $\sigma(t)$. Je to způsobeno strukturálním tlumením materiálu, při kterém dochází k částečné přeměně vložené mechanické energie v teplo. V tomto případě se jedná o vnitřní tlumení materiálu. Množství energie je měřítkem strukturálního tlumení. Z hlediska přeměny energie při dynamickém namáhání se rozděluje materiály na elastické, viskoelastické a viskózní.“ [13]

3.2.1 Elastické materiály

Elastické materiály nebo jinak řečeno ideálně pružné těleso je takové, které se při poklesu působícího napětí vrátí do původního stavu \Rightarrow „Veškerá energie nashromážděná při deformaci se využije při jeho odlehčení. U elastického materiálu nedochází k přeměně energie na teplo. Pro jednoosové tahové namáhání platí Hookův zákon. (Rovnice 2)“ [13]



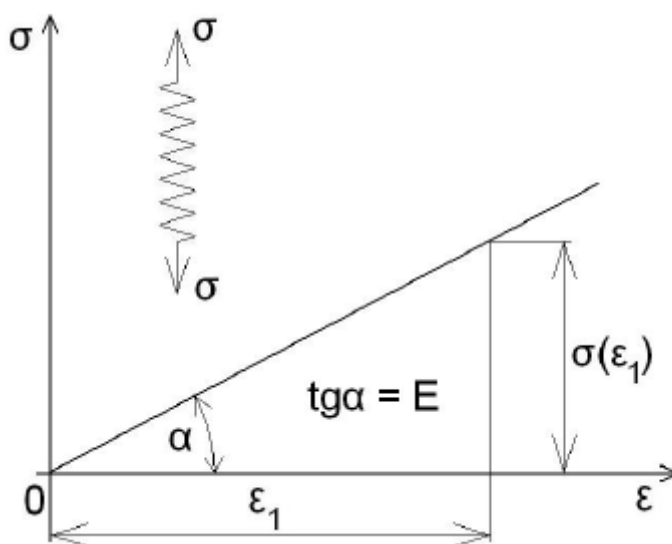
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Rovnice 2: Hookův zákon[13]

σ - normálové napětí

E - modul pružnosti v tahu

ε – relativní prodloužení



Obrázek 13: Grafické definice Hookova zákona[14]

„Hookův zákon nebere v úvahu čas, a proto je předpokládáno, že vzniklá deformace odpovídá okamžitému napětí. Práce vynaložená na deformaci Hookovského prvku od 0 do ε_1 je rovna ploše vzniklého trojúhelníku dle obr. 13 a vyjádřená jako rovnice 3:[14]

$$w(\varepsilon_1) = \frac{\varepsilon_1 \cdot \sigma(\varepsilon_1)}{2} = \frac{E \cdot \varepsilon_1^2}{2}$$

Rovnice 3 [14]

Kde $W(\varepsilon_1)$ je práce, která má rozměr modulu pružnosti E – práce jednotky objemu Hookovského prvku. Při zadané hodnotě deformace je práce úměrná modulu pružnosti E , při zmenšování deformace od ε_1 do 0 se práce vynaložená na deformaci úplně vrací (práce za celý cyklus deformace je rovna 0).“ [14]

Hookův prvek však nemůže být vyroben, protože reálná tělesa nemají okamžitou pružnou deformaci. V každém tělese se napětí a deformace šíří určitou rychlostí.

„Ideálně pružné těleso lze charakterizovat těmito znaky: deformace se ustálí okamžitě, jakmile začne působit vnější napětí a její velikost je přímo úměrná napětí. S časem se dále



nemění. Veškerá práce vynaložená na deformaci se v tělese akumuluje jako potenciální energie a lze ji kvantitativně získat zpět po uvolnění vnějšího napětí. Těleso se okamžitě vrací do původního stavu před deformací. K popisu deformace chování stačí pak jediná materiálová konstanta a to modul pružnosti, který nezávisí ani na velikosti deformace ani na době trvání. “[1] Při modelování chování těles se zobrazuje zavěšenou pružinou.

3.2.2 Viskózní materiály

Viskózní materiál - někdy se mu také říká ideálně viskózní těleso. Toto těleso je úplným opakem elastického materiálu. „Veškerá energie nakumulovaná při zatížení se přemění na teplo. Nedochází k žádnému využití nashromážděné energie při odeznění vnějšího napětí“ [13], což znamená, že deformace tělesa je trvalá. „Tato část vlastnosti se dá fyzikálně vysvětlit vztahem mezi smykovým napětím a deformací ideálně viskózní kapaliny, která je popsána Newtonovým zákonem ve tvaru (Rovnice 4).“ [11]

$$\tau = \eta \cdot \frac{d \cdot \gamma}{dt}$$

Rovnice 4: Newtonův zákon [11]

τ – smykové napětí

η – dynamická viskozita

$d \cdot \gamma / dt$ – rychlost smykové rychlosti

„Působením vnějšího napětí dochází k posunu jednotlivých vrstev kapaliny, nastává tok. Mezi napětím a deformací se rovnováha neustálí, nýbrž deformace narůstá po celou dobu působení síly. Když vnější napětí přestane působit, zůstává deformace stálá. Celková deformace závisí jak na velikosti vnějšího napětí, tak na čase po kterou napětí působilo. Rychlost smykové deformace je však při daném napětí konstantní a s napětím se mění lineárně. Veškerá energie vynaložená na deformaci se mění v kinetickou energii pohybujících se částic a nakonec se změní na teplo. V modelové technice se viskózní materiály znázorňují válcem s netěsněným pístem pohybující se v kapalině s viskozitou η . Tento model obecně představuje nevratnou deformaci čili plastický tok.“ [11]

3.2.3 Viskoelastické materiály

Komplikované struktury plastů se projevují i v chování při deformaci, proto se standardně používané plasty chovají při deformaci viskoelasticky. Což je přechodová oblast mezi

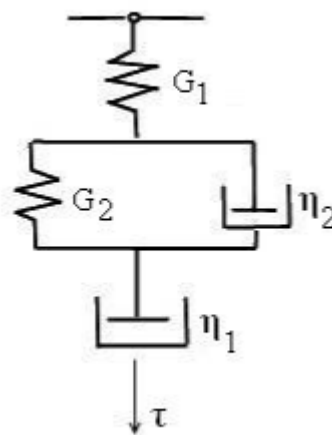


elastickou a viskózní částí. „Při zatížení vnějším napětím se část vložené mechanické energie při harmonickém namáhání viskoelastických materiálů zpětně využije při následném odlehčení. Zbytek energie se disipací přemění v tepelnou energii. Tento proces je nevratný.“ [14]

Chování viskoelastických materiálů lze znázornit několika modely a jejich následným fyzikálním odvozením. Pro názornost je použit Tucketův model, který z kvalitativního hlediska nejlépe vysvětluje skutečné chování plastů.

Tucketův model

Tento model se skládá ze tří členů. „První je pružina, která znázorňuje ideálně elastickou neboli Hookovu deformaci, kterou si označíme jako γ_1 , druhý člen, znám také jako Kelvinův model, který vznikne paralelním zapojením pružiny a netěsného válce s pístem. Tento Kelvinův model nám reprezentuje tzv.: zpožděně elastickou část. Pro naše účely je tato deformace označena γ_2 . Poslední částí Tucketova modelu je samotný válec s neuzavřeným pístem, který reprezentuje ideálně viskózní těleso, tato část je označena jako γ_3 . Celková deformace viskoelastického materiálu je součet všech deformací modelu.“ [11] (viz Rovnice 5)

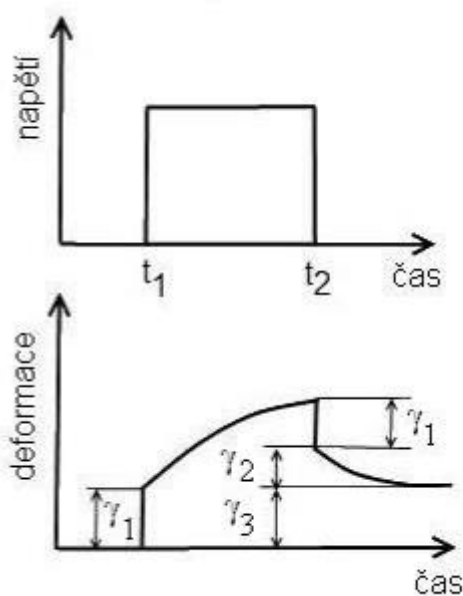


Obrázek 14: Grafické znázornění Tucketova modelu [15]

$$\gamma_c = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$

Rovnice 5: Celková deformace [11]





Obrázek 15: Průběh deformace viskoelastického tělesa [15]

„Deformace γ_1 a γ_2 jsou vratné. Zatímco γ_1 nastane okamžitě, jakmile se na těleso vloží vnější napětí anebo se napětí zruší, deformace γ_2 je závislá na čase. Je tedy funkcí doby působení napětí stejně jako deformace γ_3 . Rozdíl mezi nimi je však v tom, že γ_2 je vratná na rozdíl od γ_3 , ta je nevratná neboli trvalá. Po vložení napětí v čase t_1 nastane ihned deformace ideálně pružného členu γ_1 . Během dalšího působení napětí ihned zmizí deformace γ_1 a během určité doby postupně i deformace γ_2 a nakonec zůstane jen deformace viskózního členu γ_3 , která je konečná zůstatková deformace setrvávající po skončení působení napětí.“ [11]

„Viskoelastické chování se vyznačuje těmito znaky: Deformace je funkcí nejen napětí, ale i času a je vratná jen z části. Práce spotřebovaná k deformaci se v deformovaném tělese částečně ukládá jako potenciální energie nebo se potenciální energie mění na teplo.“ [11]



4 Volba vstřikovací dávky

Jak již bylo uvedeno v rozboru cyklu, dávkování má ve výrobním cyklu stroje za úkol připravit teplotně stabilní a co možná nejhomogennější vstřikovací dávku. Toto se musí dít s co nejmenšími odchylkami během sériovosti. Vlastnosti taveniny ovlivňuje spousta parametrů. Především pak teplota taveniny, správné nastavení profilů teplotních pásů, konstrukce plastikačního šneku a jeho zpětný tlak. Správná volba dávky má zejména vliv na vzhled vstřiku a jeho barevný odstín, povrchový lesk, rozměrovou a tvarovou přesnost a především na mechanické a fyzikální vlastnosti.

4.1 Velikost dávky

„Volba velikosti dávky se dá vyjádřit objemově nebo dráhově. Její velikost je však vázána konstrukčními omezeními stroje (průměr šneku a velikosti vstřikovací komory).“ [4] Pro první orientaci velikosti dávky se dá využít vzorců:

$$\text{Dávkovací dráha[mm]} = \frac{1,2 \times \text{objem kompletního zdvihu[mm}^3\text{]}}{\text{kolmá plocha šneku[mm}^2\text{]}}$$

Rovnice 6[4]

$$\text{Dávkovací dráha[mm]} = \frac{1,5 \times \text{objem kompletního zdvihu[mm}^3\text{]}}{\text{průměr šneku}^2[\text{mm}^2]}$$

Rovnice 7[4]

„Objem vstřiku a objem vtokového rozvodu se dá zjistit pomocí 3D modelů a konstrukce formy. Pokud je známa hmotnost vstřiku, pak se dá jeho objem vypočítat pomocí vzorce:“ [4]

$$\text{Objem vstřiku[mm}^3\text{]} = \frac{\text{hmotnost vstřiku[g]}}{\text{hustota materiálu[g} \times \text{mm}^{-3}\text{]}}$$

Rovnice 8 [4]

$$\text{Objem vstřiku[mm}^3\text{]} = \frac{\text{hmotnost vstřiku[g]}}{\text{specifický objem[mm}^3 \times \text{g}^{-1}\text{]}}$$

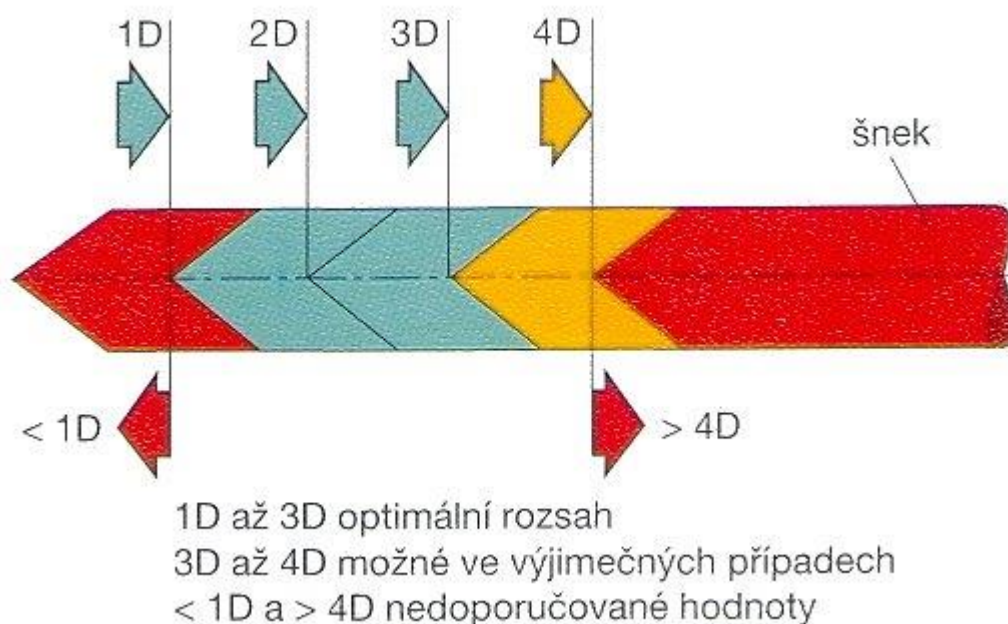
Rovnice 9 [4]



Hustotu materiálu si lze pro výpočet objemu vstřiku dohledat v materiálových listech, které se dodávají společně s materiálem, popřípadě na internetových stránkách dodavatele. „Vypočtené hodnoty se od reálných liší tím, že se optimalizují dle reálného objemového zdvihu vybraného vstřikovacího stroje a zvyšuje se o velikost polštáře“.[4]

„Skutečná velikost dávky nemá být menší než je 1 průměr šneku (D) a větší než jsou optimálně 3 průměry šneku, maximálně 4 průměry šneku. Při výpočtu velikosti dávky se musí přičíst velikost polštáře“[4] (viz Kapitola 3.2). Velikost dávky by se měla pohybovat mezi 1D až 3D ve výjimečných případech lze použít také 4D (viz obrázek 6). V těchto mezích by měl být eliminován vzduch v tavenině a ve výsledném výrobku by se neměly objevovat povrchové vady.

Dávky pod 1D a nad 4D mohou mít vliv na špatnou přípravu taveniny s možností velkých výskytů vzduchových bublin. Dávka maximálně 1D by měla být vyhrazena pro dekompresi a polštář (viz Kapitola 3.2). U volby velikosti vstřikovací dávky platí důležité pravidlo, nikdy nepřesáhnout 5D.



Obrázek 16: Vstřikovací rozsah [6]

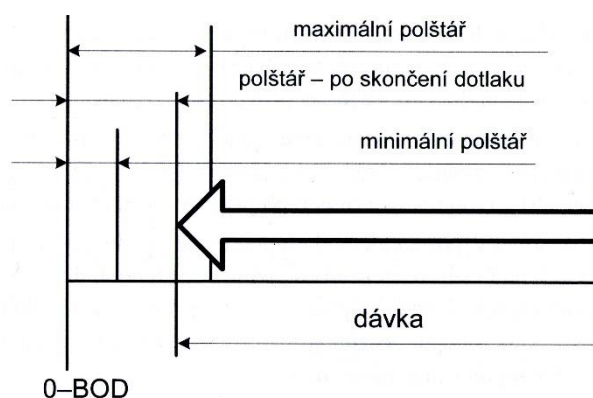
4.2 Polštář

Jak již bylo řečeno, při volbě vstřikovací dávky se musí brát v úvahu tzv. polštář. V této kapitole je popsáno, co to vlastně polštář ve vstřikovacím stroji je, k čemu slouží a především jaký je jeho vliv na velikost dávky.

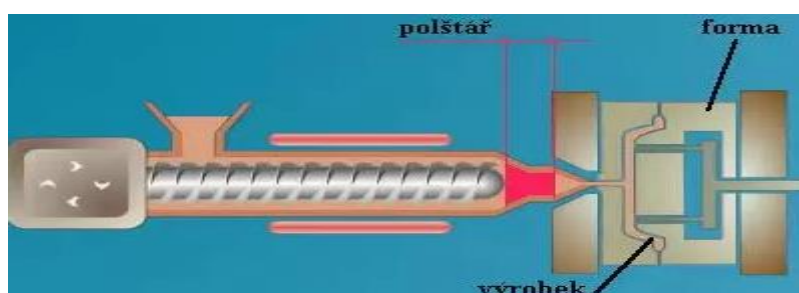


„Polštář je definován jako objem taveniny, která zůstane před šnekem v plastikační komoře po skončení dotlakové fáze stroje. Hodnota polštáře je orientační měření o správném naplnění dutiny formy a to v každém cyklu.“[4] Je-li pozorováno, že se velikost polštáře nemění, lze konstatovat, že objem taveniny vstříknuté do formy je v každém výrobním cyklu konstantní.

Velikost polštáře ve výrobním cyklu se určuje optimalizací. U všech výrobních procesů nemůžeme dosáhnout přesných hodnot, to platí i pro vstřikování, tím pádem se i zde pracuje s tolerančními mezemi dané hodnoty. Princip kontroly polštáře je znázorněn na obrázku 18. „Tato tolerance by se měla volit tak, abychom dle ní mohli určit nedostříklý nebo přestříklý díl. V praxi by se jmenovitá hodnota polštáře měla pohybovat v rozmezí od 5 do 10 % velikosti dávky.“[4] Orientační hodnoty polštáře dle průměru šneku jsou zobrazeny v tabulce 2.



Obrázek 17: Princip kontroly polštáře [4]



Obrázek 18: Polštář v plastikačním válci [6]



5 Návrh zkoušek pro ověření stability vstřikování

Pro zjištění stability vstřikování pod 1D šneku, bylo navrženo následující měření. Výroba ozdobné lišty mezi přístrojovou deskou stoje a volantem na nový vůz značky Škoda (viz Obrázek 20). Obrázek je pouze pro představu, skutečná podoba výlisku podléhá utajení. Výroba se bude provádět na formě pro výrobu výše uvedené ozdobené lišty. Forma bude nasazena na dva stroje o různých průměrech šneku, aby bylo možné porovnat jejich vliv na kvalitu výrobku. První stroj byl od výrobce Engel a je starý přibližně deset let s průměrem šneku 80mm, což odpovídá vstřikování v jeho ideální oblasti dávkování, kde se jeho výrobky budou brát jako referenční. Protože v tomto rozsahu dávky se standardně vyrábí při sériové výrobě. Druhý stroj je od výrobce Krauss maffei jeho stáří je přibližně dva roky s průměrem šneku 95mm, což odpovídá vstřikování pod 1D dávky velikosti šneku. Na každém stroji se provede přibližně pět různých naplnění formy bez dotlaku pro zjištění chování výrobků při nenaplněné formě, což bude mít za následek nedolitý výrobek a nakonec i plné naplnění formy s dotlakem jako při sériové výrobě. Různé naplnění formy se regulovalo pomocí bodu přepnutí na dotlak v závislosti na dráze šneku. Aby se vyloučil vliv degradace materiálu, bude nutné jeho časté odstřikování. Pro tuto zkoušku byl vybrán materiál od výrobce Bayer PC-ABS Bayblend t65xf. Při každém naplnění se bude vyhodnocovat prvních deset zdvihů. Určení stability se bude určovat dle hmotnosti celého zdvihu, což je výlisk i s jeho vtoky. Všechny naměřené hodnoty se statisticky zpracují. Pro měření hmotnosti byla k dispozici digitální váha Mettler Toledo PG 5002-S (viz Obrázek 19). Měřicí přístroj měl tyto parametry a je pravidelně kalibrován v certifikované metrologické stanici (viz Tabulka 1). Po získání všech dat bude porovnáno, zda data z obou lisů mají něco společného a zda jsou výlisky po celou dobu stabilní. Pro porovnání výsledků bude použito statistické vyhodnocení (viz Příloha C).





Obrázek 19: Mettler Toledo PG 5002-S [22]

Tabulka 1: Parametry Mettler Toledo PG 5002-S [22]

Maximální kapacita	1000g/5100g
Čitelnost	0,01g/0,1g
Rozsah	0...5100g
Opakovatelnost	0,008g/0,03g
Linearita	±0,02g/0,05
Doba stabilizace	1...2s
Citlivost (teplotní drift)	±3ppm/°C
Citlivost (dlouhodobá stabilita)	±0,003%
Rozhraní	RS-232, LocalCAN
Rozměry	226×95×360mm (š×h×v)





Obrázek 20: Ilustrativní fotka ozdobné lišty

6 Vstřikování v oblasti 1D šneku

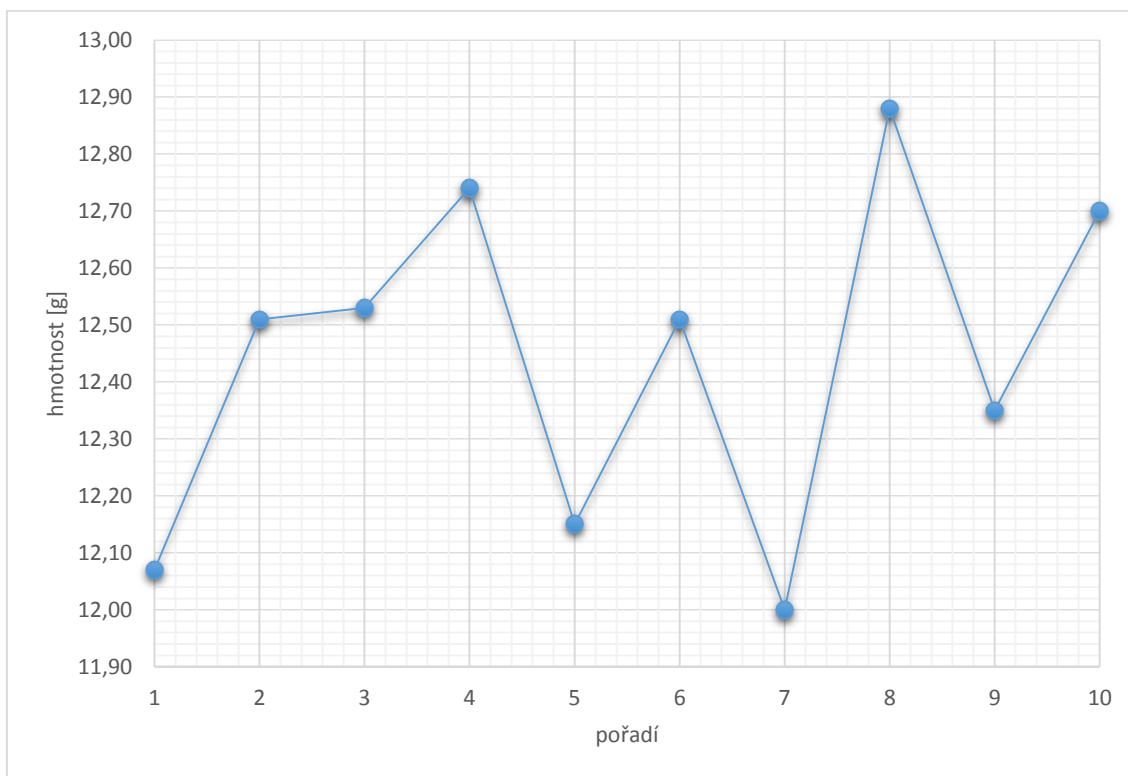
Pro zkoušku velikosti dávky do 1D šneku byl zvolen lis od výrobce Krauss maffei, s průměrem šneku 95mm. Vstřikovací parametry byly (viz Tabulka 2). Během celé zkoušky byl regulován pouze bod přepnutí, díky kterému bylo možné měnit naplnění formy. Různé naplnění bylo regulováno pomocí bodu přepnutí na dotlak. Měření začalo od co nejmenšího naplnění, kde byl vypnut tlak při dotlaku až po naplnění celé formy i se zapnutým tlakem dotlaku.

Tabulka 2: Parametry vstřikování (1D šnek)

Rychlost vstřikování	10mm/s
Doba vstřikování	3,47s
Dávka	60mm
Rychlost dávkování	65%
Doba dávkování	5s
Teplota vstřikování	260°C
Teplota formy	210-215°C

6.1 Výlisek s 20% naplněním formy (bez dotlaku)

Pro první zkoušku na vstřikovacím lisu od výrobce Krauss maffei byl zvolen bod přepnutí na dotlak v závislosti na dráze šneku na 52mm s vypnutým tlakem, díky tomu bylo dosaženo 20% naplnění formy. Což znamená, že když šnek při vstřikování dosáhne bodu 52mm, přestane vstřikovat materiál a začne ho pouze pomalu dotlačovat.



Graf 1: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 20% naplnění formy

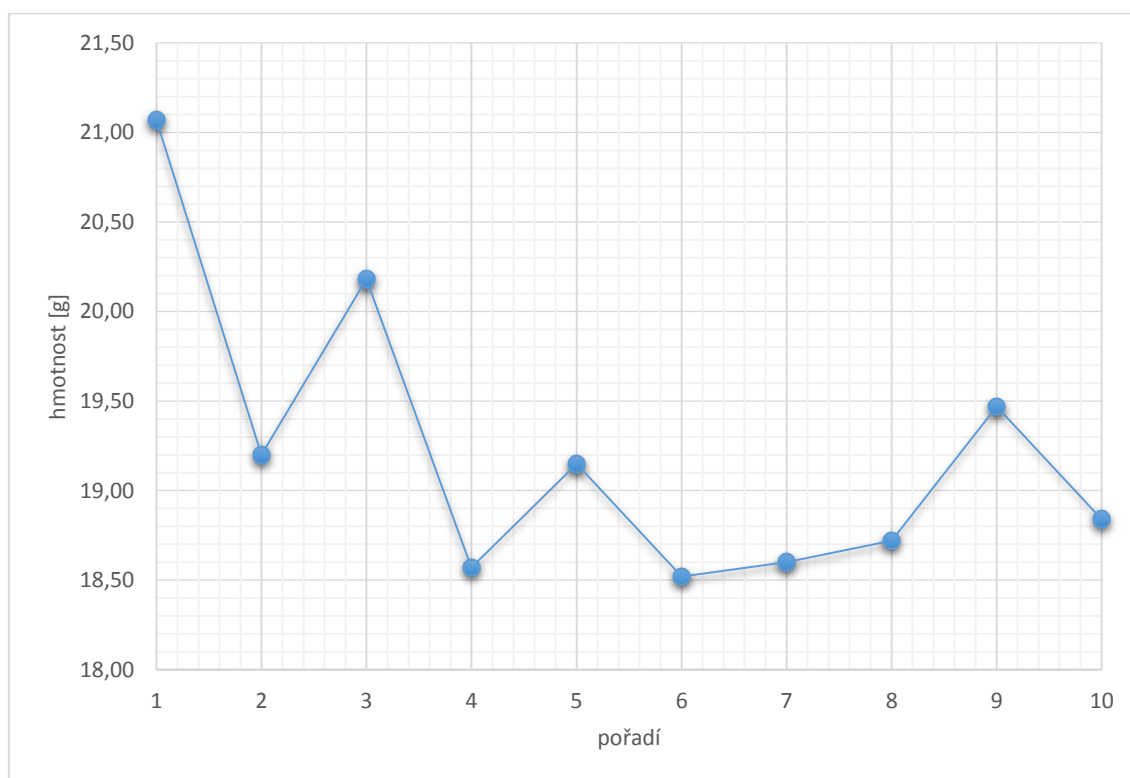
Z Graf 1 je vidět, že hmotnost zdvihů je velice nerovnoměrná. Jsou zde pouze dva zdvihy, které lze prohlásit za stejné a to zdvihy dva a šest a pokud se vezme v úvahu nejistota



měřicího přístroje, pak lze říci, že i třetí zdvih je stejný. Ostatní zdvihy jsou ve velkém rozestupu. Není tedy pochyb o tom, že toto nastavení bylo nestabilní. O tom nás mohou přesvědčit i statistické hodnoty, z nichž je vidět, že rozptyl a směrodatná odchylka jsou poměrně velké. Směrodatná odchylka vyšla v řádu desetin, přesně řečeno 0,28 (viz Příloha A-Tabulka 7) Pro výrok, že je nastavení nestabilní se dají použít hodnoty variačního koeficientu, který vyšel v řádu jednotek procent. Pro stabilitu nastavení by bylo vhodné, aby tento statistický parametr vyšel v řádu tisícín procent.

6.2 Výlisek s 40% naplněním formy (bez dotlaku)

Při druhé zkoušce byl nastaven dotlak na 50mm opět s vypnutým tlakem. Nastavením přepnutí bylo dosaženo naplněním formy z 40%. Všechny zdvihy byly zváženy a následně podrobeny statické analýze, aby bylo možné říci, zda by toto nastavení vedlo ke stabilitě výroby a tím pádem i ke stálé kvalitě výrobku během sériové výroby.



Graf 2: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 40% naplnění formy

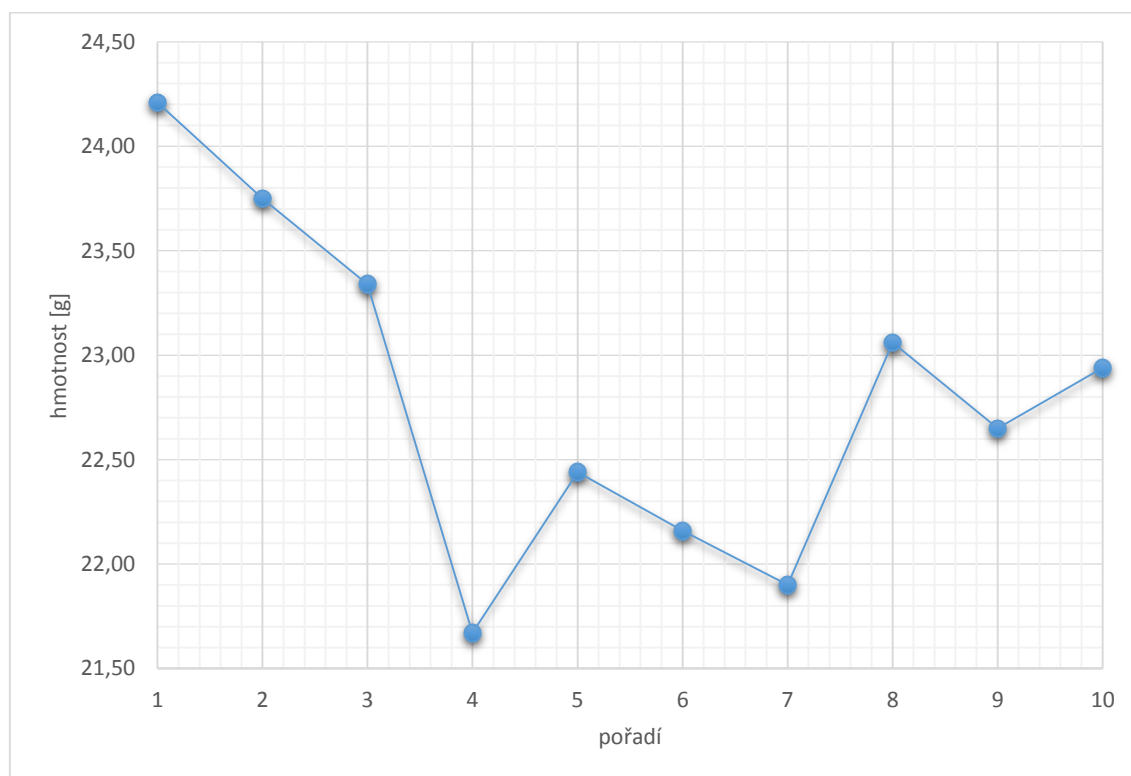
Je vidět, že i toto nastavení bylo pro naše potřeby nevyhovující. Naměřené hodnoty se pohybovaly chaoticky bez znaku jakékoliv posloupnosti. To je vidět i z modusu v Příloze A Tabulka 9, v hodnotách se nevyskytují dvě stejná čísla. Dále se dá říci, že toto nastavení bylo pro hodnoty kvality výrobku ještě horší, než u předchozího nastavení. Směrodatná odchylka



vychází v řádu několika desetin (0,78). Jak je známo, směrodatná odchylka je spjata s výpočtem variačního koeficientu, tím se nám v důsledku toho zvýšil i variační rozptyl a to na 4,06%.

6.3 Výlisek s 60% naplněním formy (bez dotlaku)

Veškerá nastavení výrobního cyklu byla zachována až na nastavení bodu přepnutí na dotlak. Ten byl nastaven na velikost 49,5mm opět s vypnutým tlakem. Forma se nám naplnila na 60% z celkového objemu dutiny formy. Všechny takto vyrobené výlisky byly zváženy a budou se mezi nimi hledat jakékoliv souvislosti.



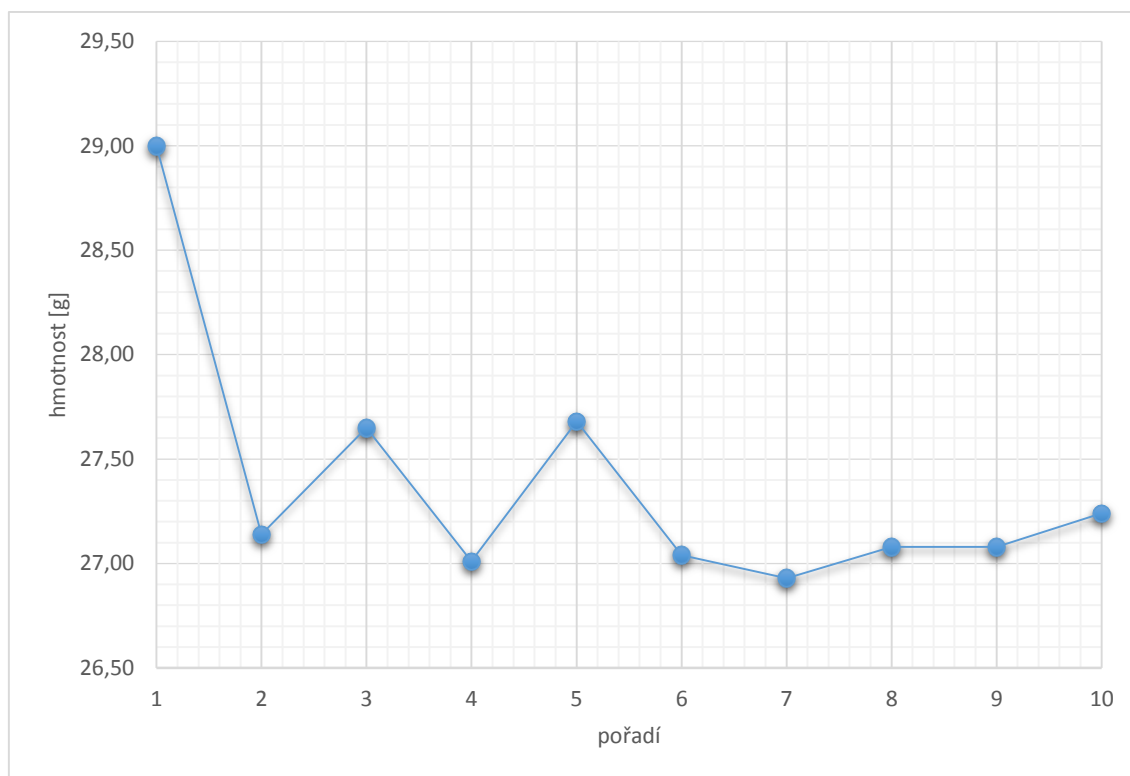
Graf 3: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 60% naplnění formy

Z Graf 3 je vidět, že první čtyři zdvihy mají klesající tendenci, ostatní hodnoty jsou dále chaoticky rozmístěné bez jakýchkoliv pravidel. Nastavení přepnutí na 49,5mm nám opět nepřinesl stabilní průběh cyklů. Při pohledu na statistické hodnoty tohoto měření (viz Příloha A - Tabulka 11), je vidět, že se v měření nenachází dvě stejné hodnoty. O velké disperzi hodnot nás ujistí především hodnoty rozptylu a směrodatné odchylky s hodnotou 0,77. Nedá se tedy říci, že toto nastavení bylo stabilní. Dalším faktem, potvrzující nestabilitu vstřiku, je variační koeficient s hodnotou 3,37%, opět je to velké statistické číslo.



6.4 Výlisk s 85% naplněním formy (bez dotlaku)

U předposledního měření na tomto typu stroje byl zvolen bod přepnutí na dotlak na 48mm a s tímto nastavením se forma naplnila z 85%. Tlak dotlaku byl vypnutý. Při těchto technologických podmínkách bylo vyrobeno deset zdvihů, které se následně podrobily měření hmotnosti. Díky tomu bude možné zjistit, zda je toto nastavení stabilní a k tomu nám pomůže statistika.



Graf 4: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 85% naplnění formy

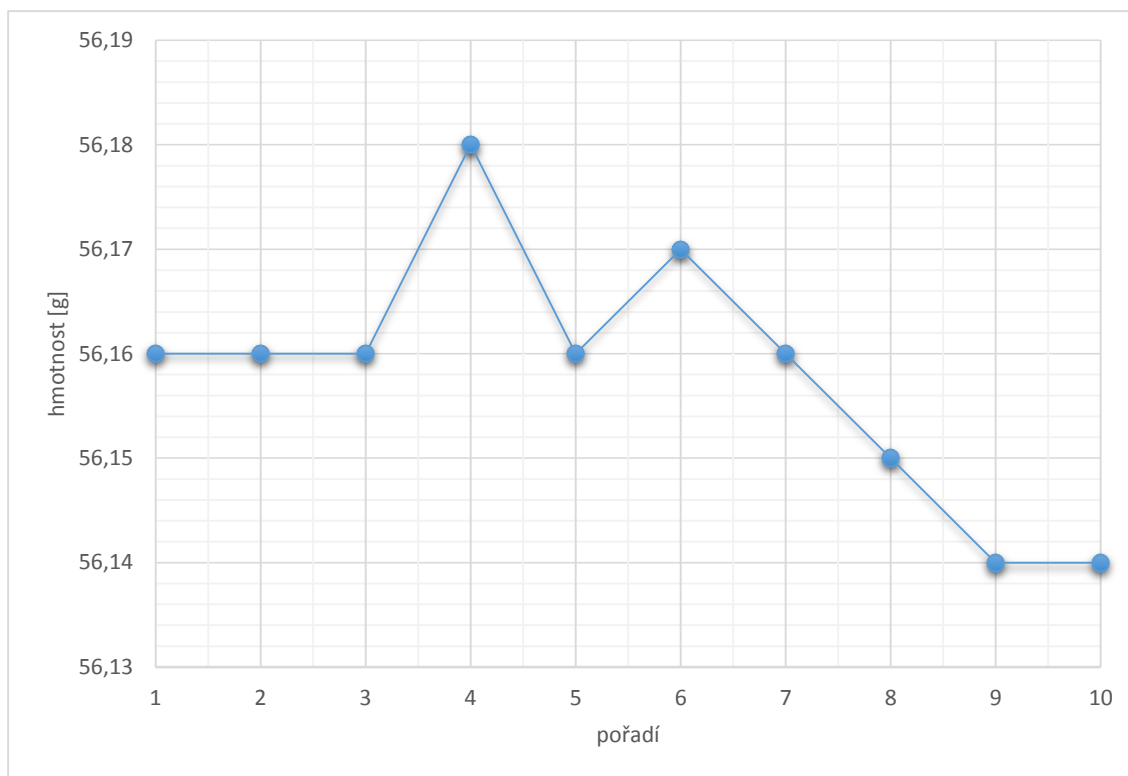
Graf 4 ukazuje, že hodnoty se liší v rozmezí půl gramu, až na první zdvih, který je mimo hodnoty ostatních zdvihů. To mohlo být způsobeno neustálením parametrů po jejich přenastavení. První zdvih nám bude ovlivňovat statistické hodnoty, ale bude muset být také započten do těchto hodnot, protože i první zdvih po přestavení parametrů se počítá do sériové výroby, popřípadě podléhá kontrole. Statisticky vyšlo toto měření nestabilní (Příloha A-Tabulka 11). Tento výrok potvrzují hodnoty rozptylu=0,35 a směrodatné odchylky=0,59. Naprostou jistotu by bylo možné získat výpočtem variační odchylky, její hodnota je 2,16%.

6.5 Výlisk se 100% naplněním formy (s dotlakem)

Poslední nastavení stroje probíhalo se zapnutým tlakem dotlaku, který nám zajistí 100% naplnění formy, přepnutí na dotlak v závislosti na dráze zůstává stejné jako u předchozí zkoušky



tudíž 48mm. Nastavení se zapnutým tlakem dotlaku se standardně používá při sériové výrobě. Toto nastavení by mělo být nejstabilnější. Zda je tento předpoklad pravdivý, bude zjištěno ze statistických hodnot a pro vizuální ujištění budou hodnoty vyneseny do grafu.



Graf 5: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 100% naplnění formy

Je vidět, že hodnoty se liší jen v malých rozdílech, které mohou být také způsobeny nepřesností měřicího přístroje. Je zřejmé, že nastavení bylo stabilní, protože aritmetický průměr je stejný jako nejčastěji se vyskytující číslo v hodnotách. Při porovnání hodnoty rozptylu a směrodatné odchylky, je vidět, že jejich hodnoty jsou velice malé. Výsledkem toho je variační rozpětí, které vyšlo 0,01%, (viz Příloha A-Tabulka 15) což je minimální rozdíl naměřených hodnot.

Zkouška probíhala na vstřikovacím lisu Krauss maffei s průměrem šneku 95mm. Při porovnání naměřených dat během celé zkoušky je zřejmé, že jediné měření, kdy byla hmotnost stabilní, je při zapnutém tlaku dotlaku. Ostatní zkoušky byly více či méně nestabilní. Největší rozptyl hodnot byl při 40% naplnění formy, kde byl variační koeficient 4,06%, U ostatních výlisků se variační koeficienty lišily o jednotku procenta. Při takto malém rozsahu zkoušek jsou jednotky procent velké číslo. Dá se říci, že u vstřikovacího stroje od výrobce Krauss maffei je pro potřeby kvality takřka nepřijatelné, aby forma nebyla naplněna ze 100%. Během měření bylo vidět, že kvalita výrobků velice kolísala.



7 Vstřikování v optimálním rozsahu šneku

Tato zkouška se prováděla na vstřikovacím stroji značky Engle s průměrem šneku 80mm. Vstřikování probíhalo při specifických technologických parametrech (viz Tabulka 3). Princip plnění formy byl použit jako při výrobě na prvním stroji (viz kapitola 6). Nastavením stroje by se mělo co nejlépe přiblížit rozměrům zdvihů jako u předchozího stroje a jeho zkoušek na něm.

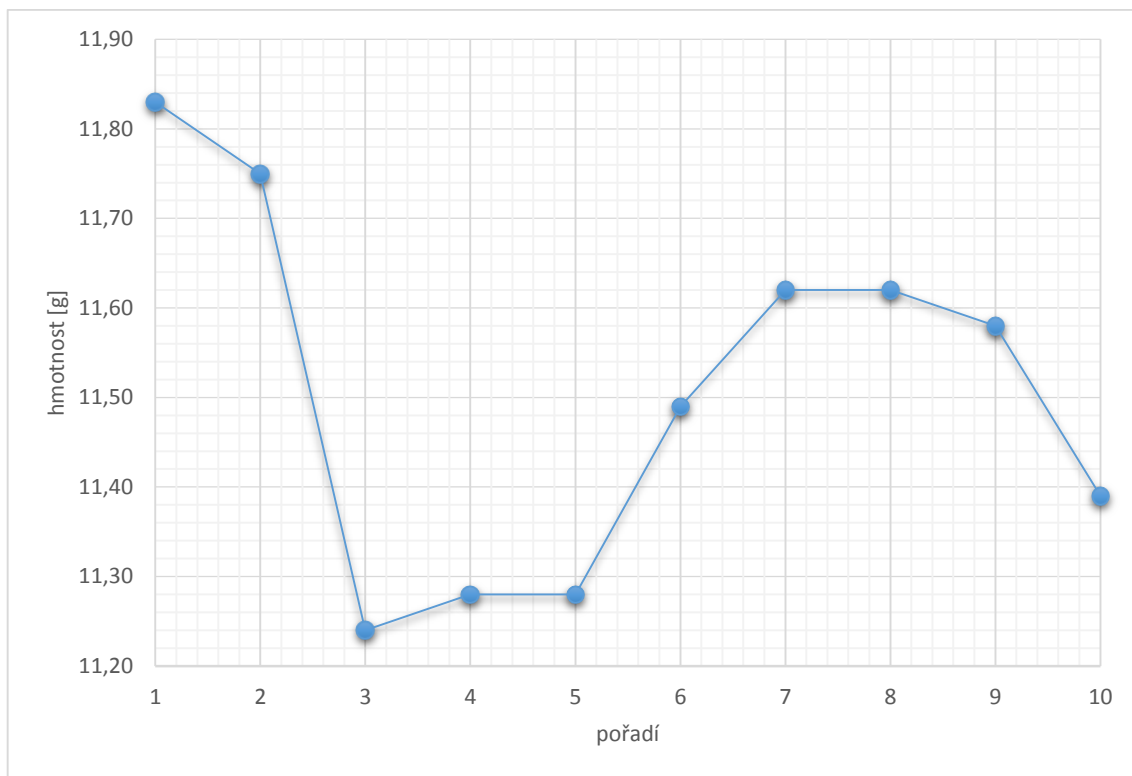
Tabulka 3: Technologické parametry

Rychlost vstřikování	10mm/s
Doba vstřikování	2,86s
Dávka	40mm
Rychlost dávkování	70%
Doba dávkování	5s
Teplota vstřikování	260°C
Teplota formy	210-215°C

7.1 Výlisek s 20% naplněním formy (bez dotlaku)

První přepnutí na dotlak bylo nastaveno na 28mm, což mělo za následek, že výlisek měl velikost cca 50 mm a forma se nám naplnila přibližně z 20%. Dle teorie by měl stroj přepnout na dotlak pokaždé ve stejném bodě ovšem v praxi to většinou neplatí. Musí se brát v úvahu nepřesnost měřících přístrojů i výrobního stroje. Vstřikování po naplnění formy z 20% stabilní bylo změněno pomocí hmotnosti zdvihu. Všechny hodnoty byly zaznamenány do tabulky (viz Tabulka 16) a pro větší představu vyneseny do grafu (viz Graf 6), kde hmotnost je závislá na pořadí, ve kterém šly zdvihy za sebou.





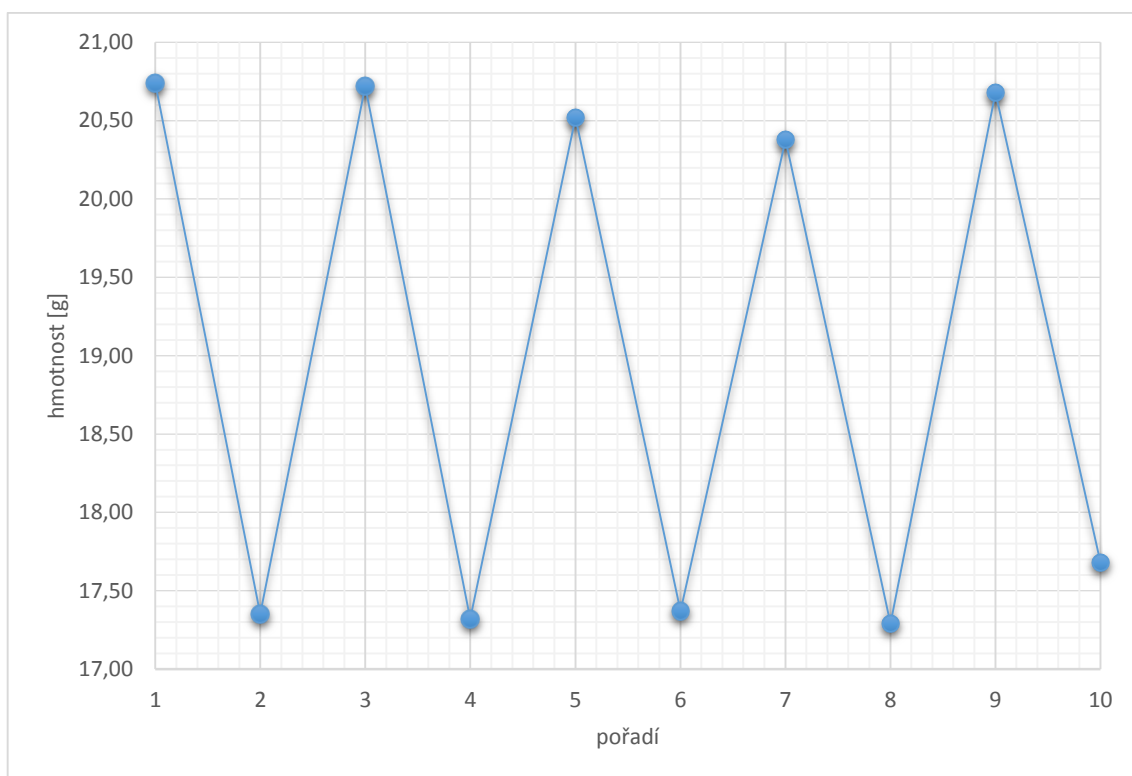
Graf 6: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 20% naplnění formy

Jak je vidět, výlisky, které byly vyrobeny při přepnutí na dotlak v 28mm jsou, co se týče hmotnosti zdvihu, nestabilní. Nelze zde najít podobné zdvihy. Rozdíly mezi jednotlivými výrobky jsou v řádu jednotek. Patrnost nestability je vidět i ze statistických údajů, kde směrodatná odchylka je 3,39 a relativní odchylka 1,49%. Tyto velké rozdíly jistě nezpůsobila nejistota měřicího přístroje.

7.2 Výlisek s 40% naplněním formy (bez dotlaku)

Při druhém měření bylo nastaveno přepnutí v závislosti na dráze šneku na 25,8mm. Díky tomu se podařilo vylisovat výlisek o velikosti cca 160mm. Naplnění formy bylo přibližně z 40%. Opět byly zapsány všechny hmotnosti do tabulky a pro lepší orientaci zakresleny do grafu (viz Graf 7).





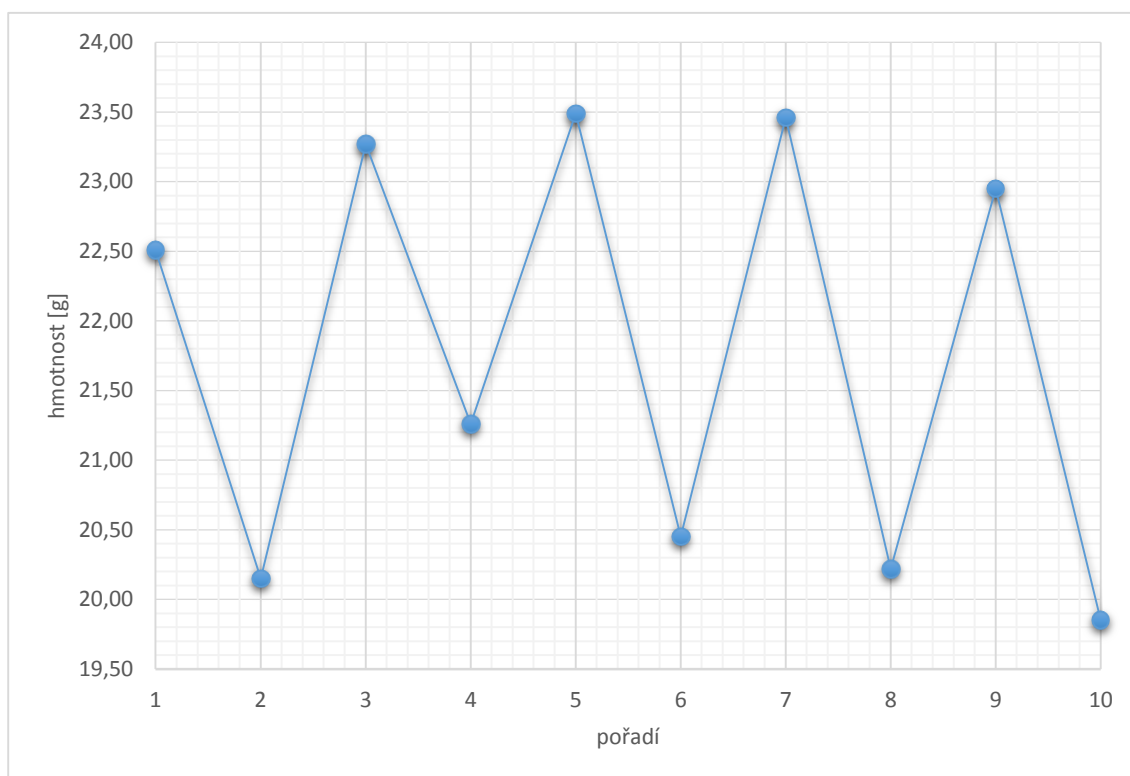
Graf 7: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 40% naplnění formy

Je zřejmé, že hmotnost výlisků, dle které můžeme určovat stabilitu, je nestabilní. Z grafu lze vyčíst, že hmotnosti zdvihu se s minimálními rozdíly shodují. Takže se dá říci, že každý druhý zdvih je stejný. Tento závěr byl zřejmý i pouhým vizuálním porovnáním dvou po sobě jdoucích zdvihů. Proto i statistika vychází ve velkých číslech např. směrodatná odchylka je 1,61 a variační koeficient 8,47%.

7.3 Výlisek s 60% naplněním formy (bez dotlaku)

Pro třetí zkoušku byla naplněna forma přibližně z 60% s velikostí výlisku 250mm. Tyto parametry byly zajištěny přepnutím na 24mm. Po proměření všech deseti zdvihů bylo vše zaznamenáno do tabulky (viz Příloha A-Tabulka 21).





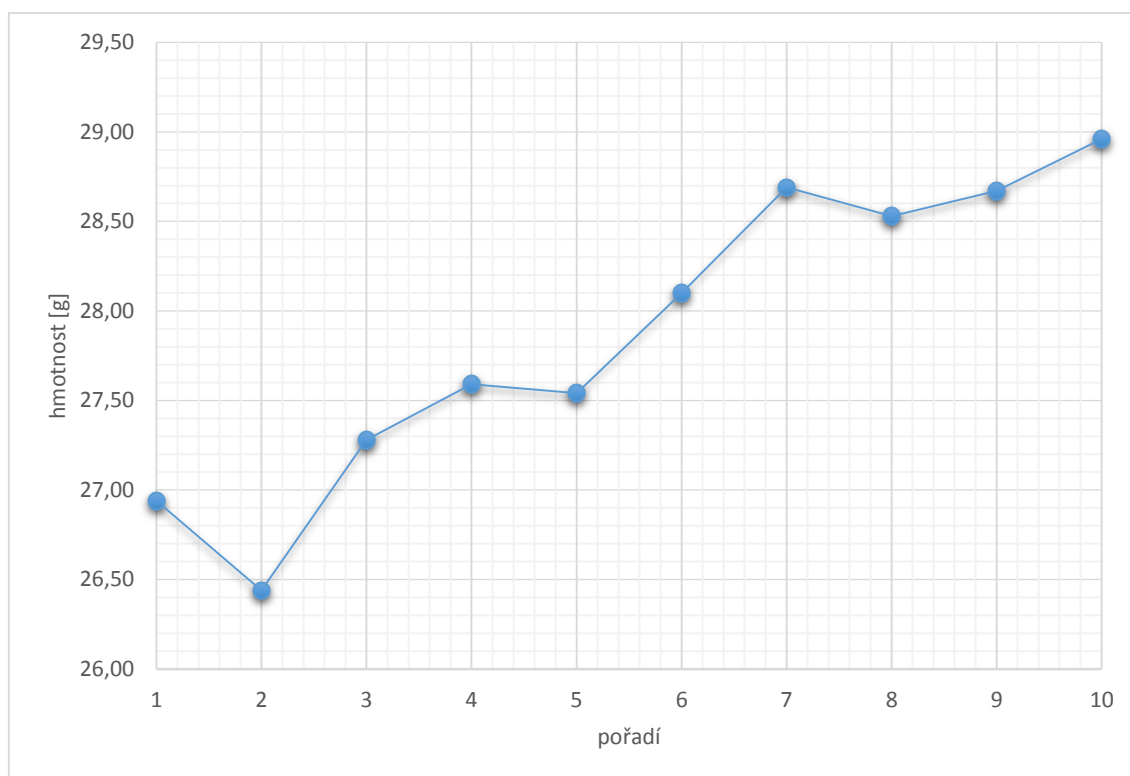
Graf 8: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 60% naplnění formy

Výsledky měření ukázaly, že naplnění formy z 60% je nestabilní, o čemž vypovídá i statistika, kde není možné určit žádné opakující se číslo v měření, směrodatná odchylka je 1,44 a rozptyl hodnot je 1,38, nelze tedy mluvit o stabilitě, při takto velkých hodnotách.

7.4 Výlisek s 85% naplněním formy (bez dotlaku)

Předposlední test na tomto stroji byl prováděn pro nastavení přepnutí na dotlak v bodě 21,5 mm. Bylo dosaženo naplnění formy přibližně z 85% a velikostí výlisku 227mm. Po přesném změření na digitální váze byly veškeré hmotnosti zaznamenány (viz Příloha A - Tabulka 22).





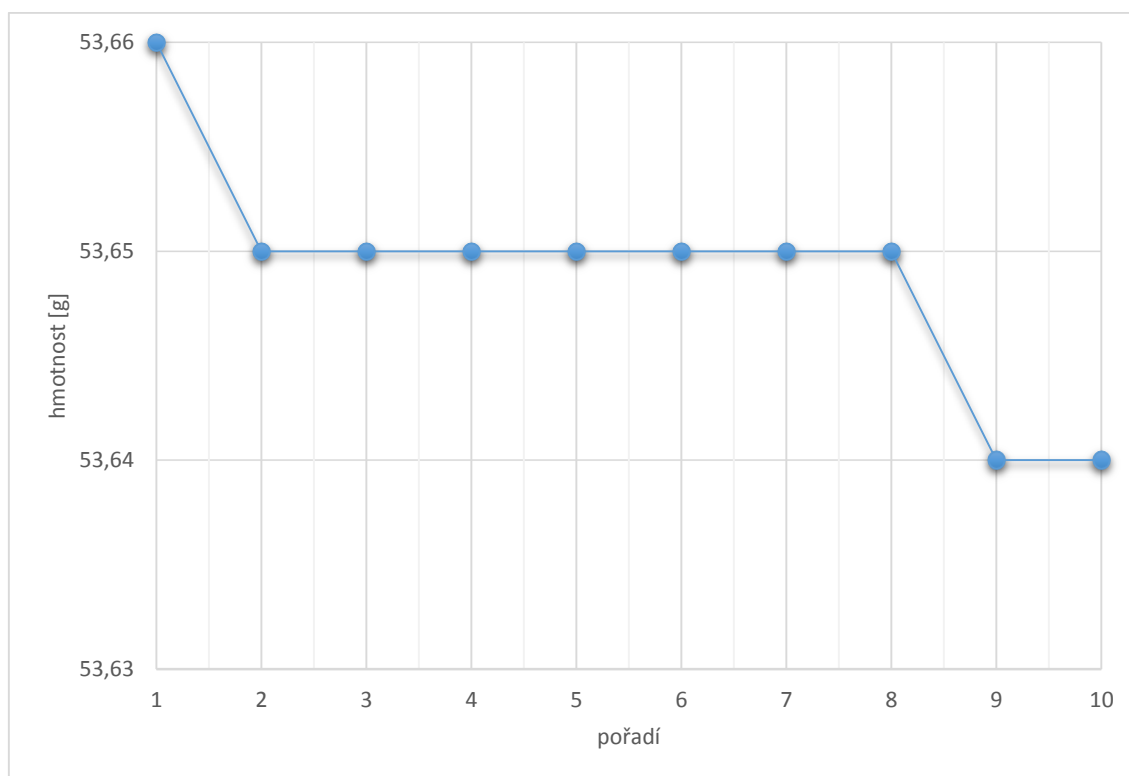
Graf 9: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 85% naplnění formy

Je patrné, že čtvrté měření je naprosto nestabilní. Z deseti naměřených hodnot se nenašly dvě podobné. O nestabilitě zdvihů přesvědčují i statistické výsledky z Přílohy A-Tabulka 23, kde je vidět, že není určený žádný modus a relativní odchylka byla vyhodnocena na 2,57%, směrodatná odchylka 0,8 a nakonec variační koeficient 2,88%. Nelze říci, že to jsou příliš velké rozdíly, ale při takto malém rozsahu měření, jsou tyto hodnoty příliš velké.

7.5 Výlisek se 100% naplněním formy (s dotlakem)

Při posledním nastavování přepnutí na dotlak na stroji s průměrem šneku 80mm a za stálých technologických podmínek byl zanechán bod přepnutí z přechozího měření, což bylo 21,5mm. Pouze s jedním rozdílem. Bylo použito vstřikování se zapnutým tlakem při dotlaku přibližně 10bar po dobu 5s. Toto nastavení by mělo zcela naplnit formu a omezit veškeré propadliny, které mohou vznikat v důsledku smrštění při chladnutí zdvihu.





Graf 10: Závislost hmotnosti na pořadí vstřikování při 100% naplnění formy

Jak je vidět z Graf 10, vstřikování s dotlakem je velice stabilní. Z deseti naměřených hodnot se lišily jen tři od průměru a to ještě s minimálním rozdílem, který mohl být způsoben chybou měření na digitálním přístroji. Pro tvrzení o tom, že toto nastavení stroje je stabilní vypovídají i statistické výpočty. Relativní odchylka je pouhých 0,01% a aritmetický průměr se shoduje s nejčastěji se vyskytujícím číslem v měření. (viz Příloha A - Tabulka 25)

Všechny zdvihy, byly vyrobeny na vstřikovacím stroji Engel. Po zvážení všech zdvihů bylo zjištěno, že jediné nastavení, kdy je vstřikování stabilní, je při 100% naplnění formy a při přepnutí na dotlak v 21,5mm a zapnutém tlaku při něm. V naměřených hodnotách byly jen malé rozdíly, které mohou být způsobené nepřesností měřícího zařízení. Ostatní naplnění jako u předchozího stroje, přesvědčila o tom, že pokud není forma 100% zaplněna, tak výrobek nemá šanci projít přes kontrolu kvality.

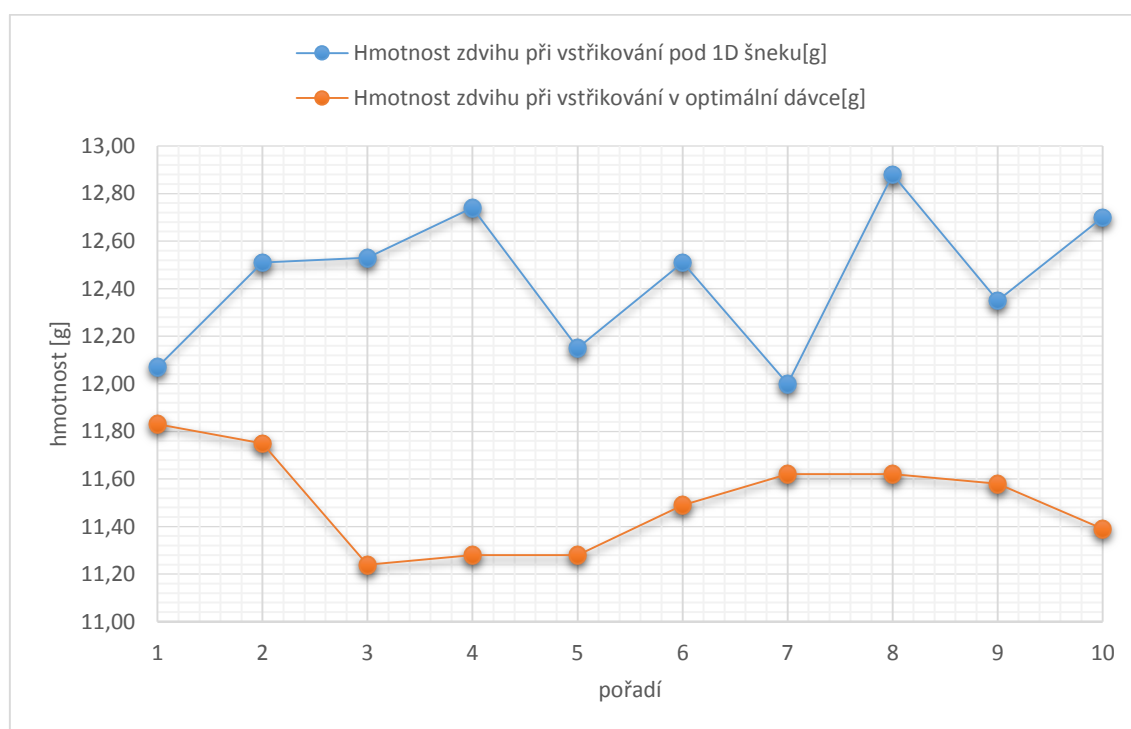


8 Porovnání vlivu vstřikovacích strojů

V této kapitole budeme porovnávat vliv průměru šneku na kvalitu zdvihu a závislost mezi vstřikováním v optimální dávce a vstřikováním pod 1D dávky šneku. K tomu bude použit rozdíl variačních koeficientů. U různých naplnění formy se budou porovnávat hodnoty hmotnosti zdvihů jak u stroje Engel s průměrem šneku 80mm, tak u lisu Krauss Maffei, který má průměr šneku 95mm. Jednotlivé hodnoty z obou strojů by se neměly příliš lišit. Zda je teorie správná se zjistí v následujících kapitolách. Pro lepší vizuální porovnání budou hodnoty, které jsme naměřili v předešlých kapitolách zaneseny do grafů.

8.1 Porovnání strojů při 20% naplnění formy

Hodnoty při naplnění formy z 20% objemu formy u obou vstřikovacích lisů byly vyneseny do Graf 11. Z grafu je patrné, že obě vstřikování byla velice nestabilní. U vstřikování pod 1D šneku byl dokonce zdvih o necelý půl gram těžší, než u vstřikování v optimální dávce. Ani u jednoho stroje není možno najít shodné hodnoty hmotnosti zdvihu. U vstřikování pod velikost 1D šneku, byl vypočten variační koeficient na 2,26% a u vstřikování v optimální dávce na 1,76%. Pokud se oba výsledky od sebe odečtou, dá se zjistit, že výsledek vyšel na 0,5%. Je možno konstatovat, že vstřikování na stoji Engel bylo stabilnější než u Krauss maffei. Rozdíly mezi hodnotami byly poměrně velké i při takto malém rozsahu měření.

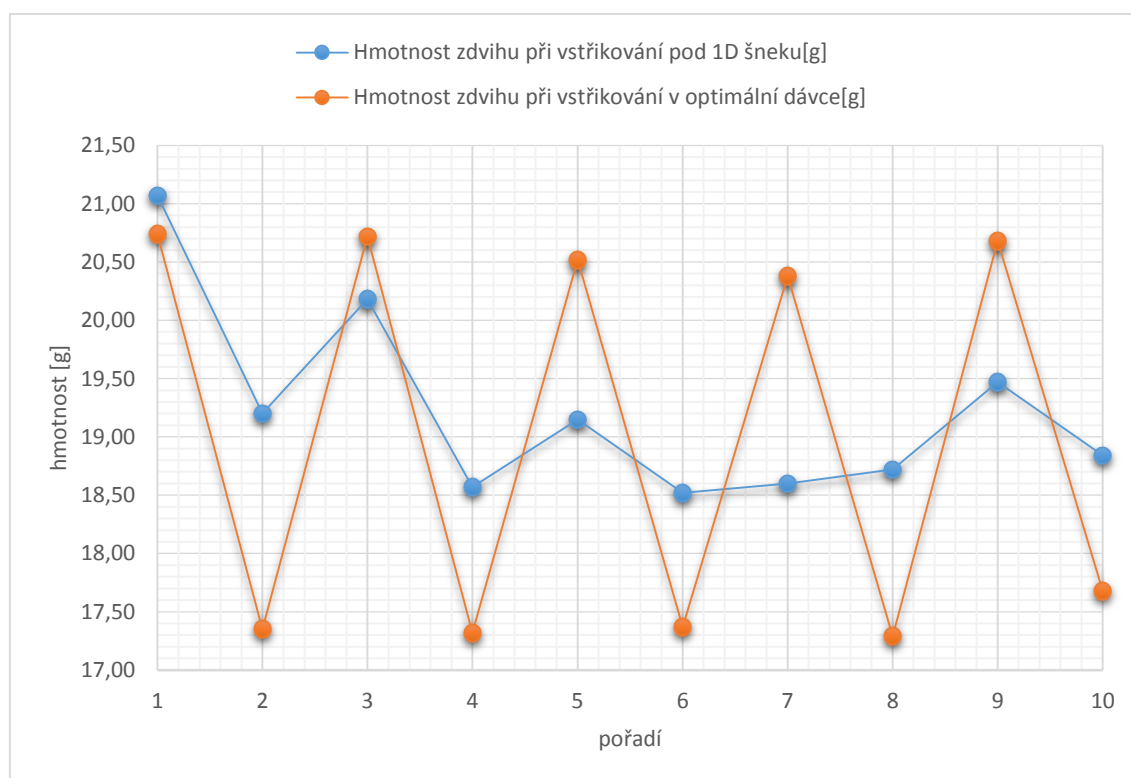


Graf 11: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (20% naplnění formy)



8.2 Porovnání strojů při 40% naplnění formy

Naplnění formy z 40% u obou strojů nám přinesl tyto hodnoty (viz Graf 12). Naměřené hodnoty získané z obou strojů se překrývají, a však dá se říci, že stroje nám vyráběly po celou dobu stejně kvalitní výrobky. Hmotnost výrobků u obou výrobních strojů byla měněna s každým cyklem. Při vstřikování v optimální dávce se hodnoty měnily střídavě. U vstřikování pod 1D velikosti dávky šneku v prvních šesti cyklech se hodnoty střídavě měnily, od sedmého do desátého cyklu byly naměřené hodnoty mimo jakoukoli souvislost. Opět při porovnání variačních koeficientů, bylo zjištěno, že hodnoty na obou strojích jsou poměrně velké. U stroje Engel 8,47% a Krauss maffei 4,47% jejich rozdílem bylo zjištěno, že výroba na obou strojích nemá žádné spojitosti. Výsledek rozdílu je 4,41%. Takto nastavené stroje nemohou být použity pro sériovou výrobu.



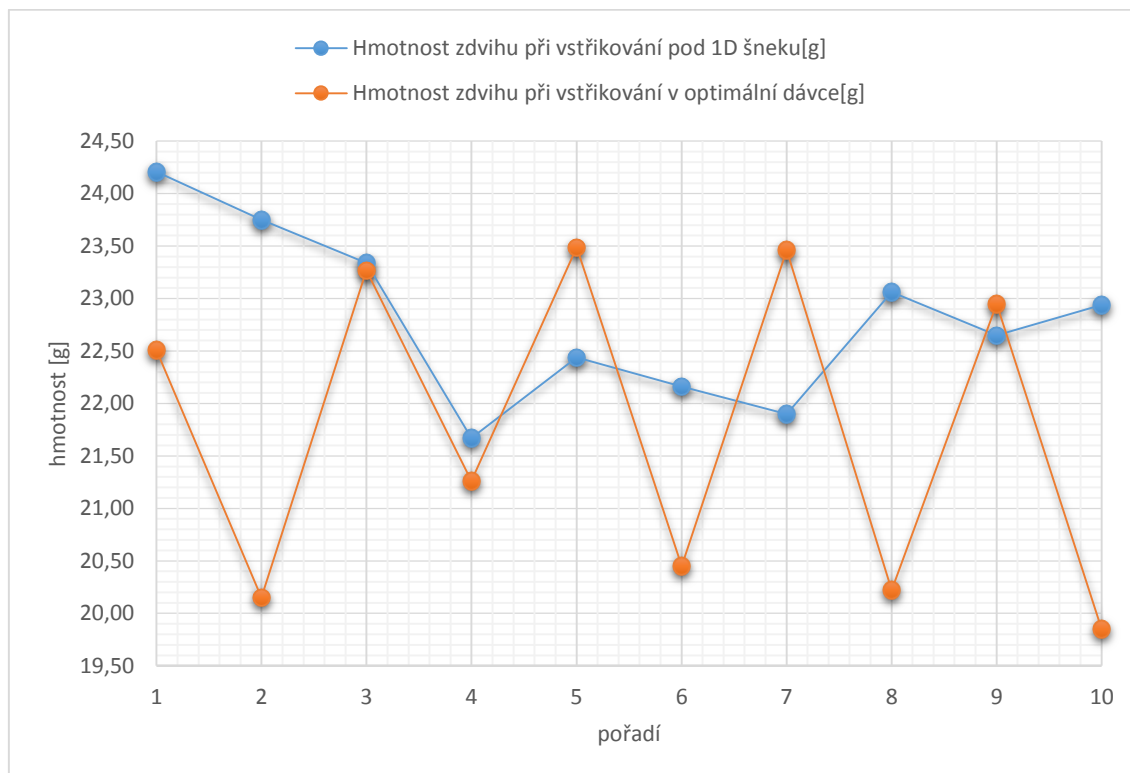
Graf 12: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (40% naplnění formy)

8.3 Porovnání strojů při 60% naplnění formy

Třetí porovnání strojů z 60% naplněné formy přineslo tyto výsledky (viz Graf 13). Je vidět, že díly vyrobené na obou strojích jsou nestabilní, ale naopak se oba nacházejí přibližně ve stejných hodnotách hmotnosti. Při porovnání variačních koeficientů, jejichž hodnoty jsou u vstřikování pod 1D velikosti dávky šneku 3,37% a u vstřikování v optimální dávce 6,61%, bylo zjištěno, že hodnoty se od sebe liší více než o polovinu. Větší rozptyl nastal u stroje Engel. Ani



u jednoho ze strojů nelze říci, že by výrobky byly stabilní. Jejich rozptyl je tak velký, že s takto naplněnou formou nelze v žádném případě vyrábět.

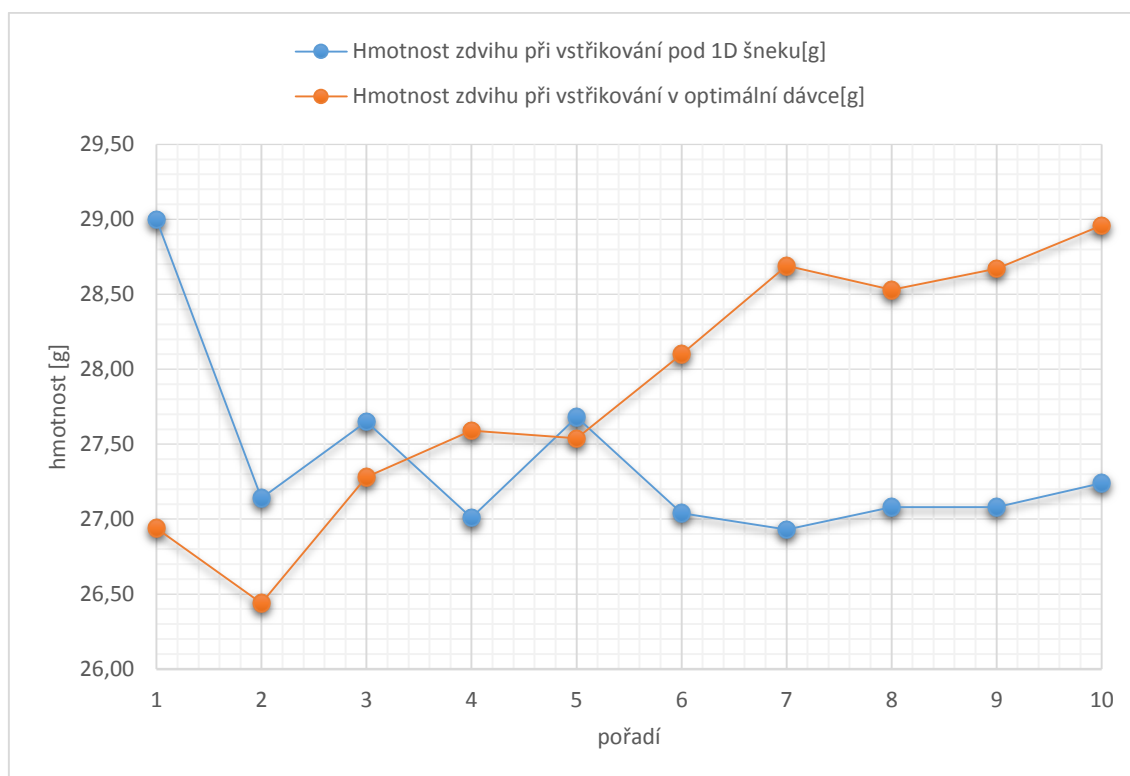


Graf 13: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (60% naplnění formy)

8.4 Porovnání strojů při 85% naplnění formy

Při téměř celém naplnění formy na obou strojích s různými průměry šneku, naměřené hodnoty ukazují zajímavé výsledky. Hodnoty jsou naprosto nestabilní. Je zřejmé, že vstřikování v optimální dávce má stoupající tendenci, ale naopak vstřikování pod 1D šneku má sestupnou tendenci. Výsledky naměřených hodnot u obou strojů budou rozdílné, což je patrné již z grafu. Velké rozdíly naměřených hodnot matematicky vyjádříme pomocí rozdílu variačních koeficientů. Vstřikováním na stroji Engel byl vypočten variační koeficient na 2,16% a u stroje Krauss maffei na 2,88%. Jejich rozdíl pak vyšel 0,72%. Je to poměrně malý rozdíl hodnot, ale při takto malém počtu zkoušek je rozdíl velký. Ani toto nastavení není vhodné pro sériovou výrobu. Vyrobené zdvihy by neprošly přes kontrolu kvality.



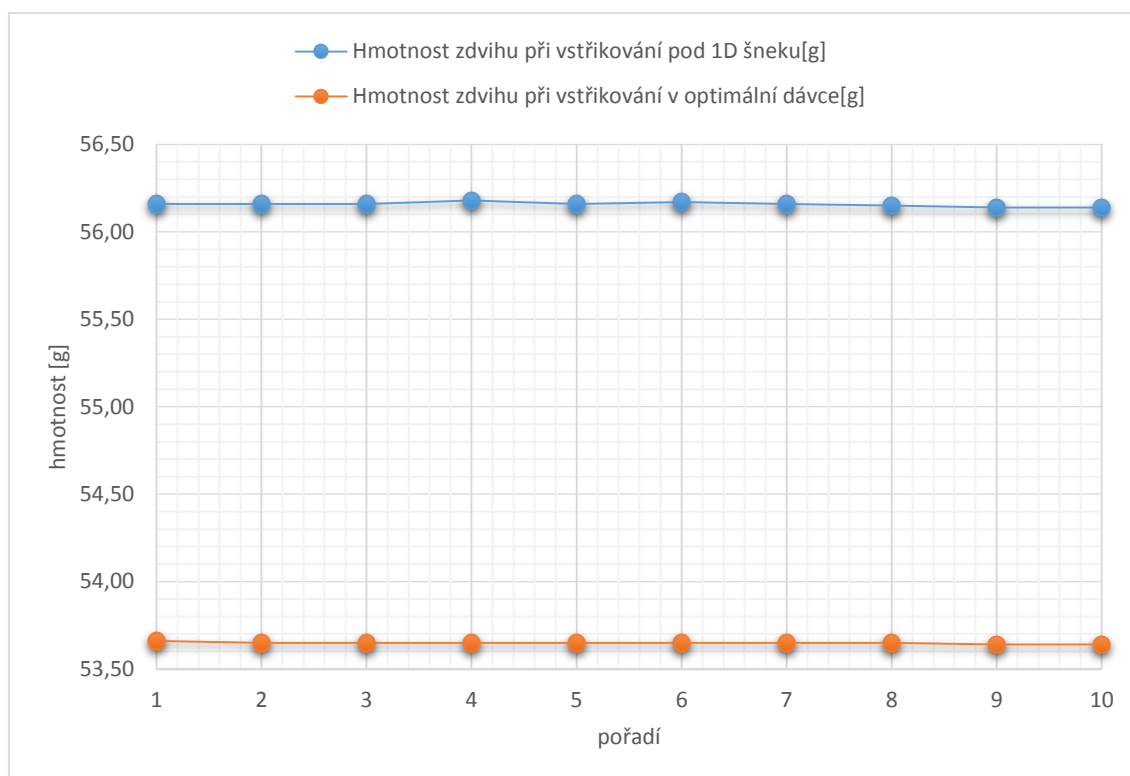


Graf 14: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (85% naplnění formy)

8.5 Porovnání strojů při 100% naplnění formy

Tímto posledním porovnáním zjistíme, jak se liší hodnoty hmotnosti zdvihů. Při této zkoušce byl zapnutý tlak dotlaku u obou strojů. Již v předchozích kapitolách bylo řečeno, že vstřikování se zapnutým dotlakem je nejstabilnější. Zda jsou vstřikování na obou strojích shodná, se potvrdí pomocí variačních koeficientů. Všechny hodnoty byly vyneseny do Graf 15. Při vstřikování v optimálním rozsahu byl spočten variační koeficient na 0,01% a při vstřikování pod 1D velikosti dávky na hodnotu 0,02%. Pak lze určit jejich rozdíl, který vyšel 0,01%. Toto je naprosto minimální rozdíl variačních koeficientů. Z grafu je dále vidět, že hmotnosti zdvihů u vstřikování pod 1D jsou těžší, než u vstřikování v optimální dávce a to přibližně o 3g. To je v praxi možné vyřešit pomocí přenastavení technologických parametrů. I přes tyto rozdíly lze říci, že vstřikování při 100% naplnění formy a zapnutém tlaku při něm, je stabilní.





Graf 15: Porovnání vlivu průměru šneku na hmotnost zdvihu (100% naplnění formy)

Po porovnání strojů při jednotlivých naplněních formy bylo zjištěno, že nejstabilnější je vstřikování s plným naplněním formy a zároveň se zapnutým tlakem při dotlaku. Mezi stroji se však hodnoty lišily a to hmotnostně vyjádřeno o tři gramy. Tento problém se však v praxi dá vyřešit pomocí změny technologických parametrů (bod přepnutí na dotlak, tlakem při dotlaku). O tom, že toto nastavení bylo stabilní, dokazuje minimální rozdíl mezi hodnotami variačních koeficientů. Ostatní hodnoty se už od plného naplnění formy lišily poměrně velkým rozdílem. Při rozboru ostatních naplněních formy bylo zjištěno, že rozdíly variačních koeficientů jsou na rozsah měření velké. Největší rozdíl je u naplnění formy z 40% a pak u naplnění formy z 60%. Tyto výsledky mohou být v menší míře ovlivnitelné pomocí technologických parametrů. V konečném výsledku lze říci, že pokud není forma naplněna ze 100%, nelze na ní sériově vyrábět. Ostatní naplnění forem je příliš nestabilní s velkými rozptyly hodnot, což je pro výrobu nepřijatelné.



9 Softwarové řešení vyhodnocování měření

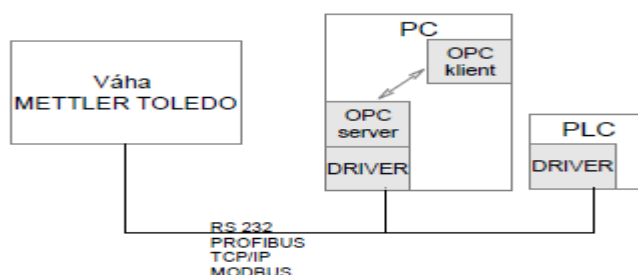
Pro potřeby Magny k zefektivnění kontrolního procesu během vstřikování, byl vytvořen software pro sběr a vyhodnocování naměřených dat pod názvem **Vyhodnocení a archivace měření**, který byl programován v jazyce C# a vývojovém prostředí Visual studio 2013. Program byl vyvíjen tak, aby sloužil univerzálně ne jen pro potřeby bakalářské práce, ale i pro další kontrolní měření v provozu. V současné době se pro kontrolu kvality všechna naměřená data zapisují ručně buď do archů anebo do vytvořené aplikace a to minimálně třikrát za směnu. Což je 9× za den a 45× za týden z toho důvodu je program defaultně nastaven na týdenní kontrolu kvality s respektem ke kontinuálnímu týdennímu provozu v Magně. Po týdnu se záznam měření automaticky uloží. Program Vyhodnocení a archivace měření by našel své uplatnění i při 100% kontrole kvality výrobků. Navrhovaný program by měl zefektivnit sběr dat pro potřeby kvality tím, že se naměřená data budou shromažďovat pomocí sériových linek anebo pokud nejsou k dispozici, tak ručním zadáváním. Jedním z cílů bylo archivovat jednoduše naměřená data do jedné složky – adresáře, kde by byla data zpětně dohledatelná, například za účelem dokladování kvality výrobků v případě reklamace. Jako další rozšíření bych navrhoval, aby obsluha na stroji měla k dispozici pouze měřicí přístroj a jednoduchý hardware, který by se skládal z tlačítka, které po zvážení odešle data do programu, kde je výrobek zkontrolován a po té by světelná kontrolka signalizovala, zda je výrobek v zadaných tolerancích. Program by mohl běžet v kanceláři technologa nebo kontroly kvality v podstatě v současné verzi doplněné o snímání dat z měřicího zařízení a ovládání signalizace podle výsledků měření. Naměřená data se ukládají ve formátu *.xlsx a *.txt. Tento typ souboru byl zvolen po konzultaci se zaměstnanci Magny, kteří mají na starosti kvalitu výrobků. Což jsou zaměstnanci převážně s menšími schopnostmi práce se soubory. Většina z nich pracuje s programem Excel jen na základní úrovni. Software by jim měl usnadnit práci se zadáváním naměřených hodnot a zároveň jim zpětně data nabídnout v pro ně známém prostředí. Uložení do textového souboru je již pro potřeby uchování dat v široce rozšířeném formátu. Naměřená data se budou ukládat do centrálního souboru a tím pádem budou kdykoli k dispozici.

9.1 Návrh automatizace pro Mettler Toledo PG-5002-S

V této kapitole budou rozebrány možnosti připojení použitého přístroje k softwaru. Jak již bylo řečeno při návrhu zkoušek a představení dostupného měřicího přístroje s jeho parametry (viz Tabulka 1). S měřicím zařízením je možno komunikovat pomocí linek a to LocalCAN a



RS 232. O sériových linkách více v následujících kapitolách. Možnosti komunikace s váhou se nejlépe zobrazí na obrázku (viz Obrázek 21)



Obrázek 21: Možnosti komunikace váhy[24]

Z tohoto obrázku je patrné, že se nabízejí dvě možnosti jak komunikovat s váhou. Je možné využít nabídky softwaru od výrobce, jež pracuje přes klienta, anebo je možné vytvořit vlastní komunikační ovladač. Komunikace s váhou pomocí serveru a klienta má tu výhodu, že je to velmi rychlé. Hotový software se obdrží od výrobce a pouze se nainstaluje.

Druhou možností je vytvořit vlastní ovladač. K vytvoření kvalitního a robustního ovladače je tedy potřeba dokumentace používaných zpráv a povelů v komunikaci. Vytvoření vlastního ovladače může být při nezkušenosti velmi časově náročné. V některých případech stačí i jednodušší ovladač, který využívá pouze ty příkazy, které jsou potřebné. Další výhodou je nezávislost ovladače na používaném přístroji, záleží pak na příležitosti, pro který přístroj bude ovladač využit.

9.1.1 LocalCAN

Pomocí sběrnice CAN je možné komunikovat s váhou pomocí podpory jak standartních tak i rozšířených příkazů. Tyto příkazy lze snadno dohledat v příručce, která je dodávána k přístroji anebo ji lze stáhnout na internetových stránkách výrobce. Kabel je připojen pomocí robustního 4-pin konektoru s obráceným napětím a ochranou(Obrázek 22).

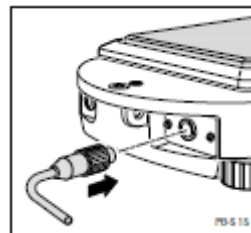
9.1.2 Výhody LocalCAN

- „Upevnění až pět periferních jednotek k váze současně.
- Spolehlivý přenos dat díky vestavěnému CAN řadiče. Otevřený systém kabeláže, tj. každá periferní jednotka s výjimkou pomocné displeje mají další připojení.“[23]





Obrázek 22: 4-Pin Local CAN[23]



Obrázek 23: Připojení konekturu[23]

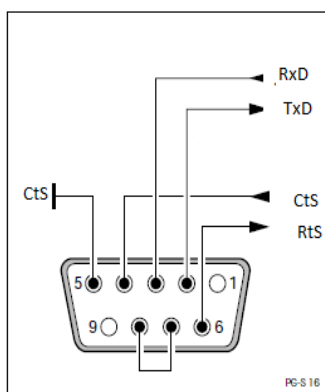
Tabulka 4: Signály Local CAN

Číslo pinu	Signál
1	Negativní signál (-CAN)
2	Pozitivní signál (+CAN)
3	Pozitivní napájecí pin pro periferie (V_{can})
4	Negativní napájecí pin pro periferie (0V)

9.1.3 RS 232

9 pin zásuvka umožňuje připojení k tiskárně anebo počítači. V současné době je toto rozhraní zabráno právě pro tisk naměřených hodnot. Nevýhodou však je, že takto se data nedají uchovat v elektronické podobě. Tato sériová linka se však dá využít jen pro jednu periferii. Při nutnosti připojení i dalších periférií by bylo vhodné využít LocalCAN.

Tabulka 5: Signály RS 232



Obrázek 24: RS 232[23]

Pin	Signály
CtS	Povolení k vysílání
DtR	Signál o připravenosti protistraně
Rts	Požadavek na vysílání
RxD	Data příjem
TxC	Data posílána

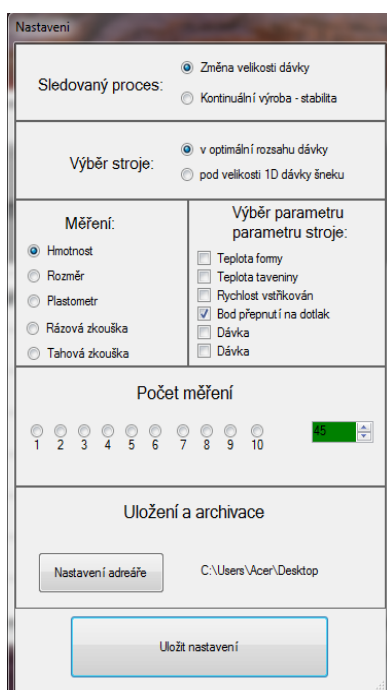


Pro propojení s navrhovaným programem, za účelem shromažďování dat v elektronické podobě, by se měla použít RS 232, neboť je jednoduchá pro zprovoznění automatizace měření. Pro získání hodnot z více komponentů by byl vhodný master, který by řídil tok dat - například master profibus či samotný počítač, který by nám nahradil mastra.

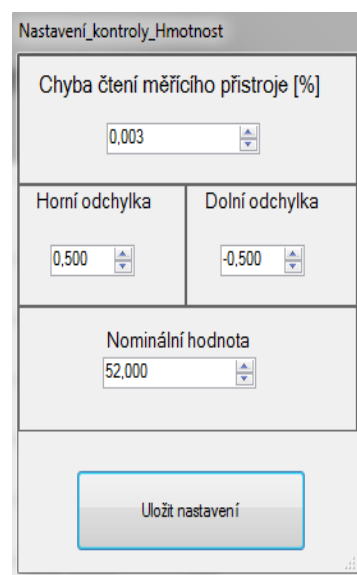
9.2 Chod programu

9.2.1 Nastavení měření

Uživatel si pomocí tlačítka v menu zvolí Nastavení / Měření. A to počet měření, měřenou fyzikální veličinu, nastavovaný parametr, adresu kam se budou vyhodnocená data ukládat (viz Obrázek 26). Na zadané adrese se vytvoří složka s názvem Kontrolor kvality společně s podsložkou Data. V této podsložce se vytvoří další složky. První bude Data chart, která slouží k ukládání hodnot z měření a jsou k dispozici pro znovu obnovení v programu při porovnání v grafu. Další dvě složky slouží k uchování dat, jmenují se Excel data a Txt data. V jednotlivých složkách se shromažďují hodnoty z měření. Při uložení parametrů se nastavená data ukládají do souboru, aby se při dalším spuštění programu nemusely parametry znovu nastavovat. Další nastavení probíhá při stisknutí Nastavení / Nastavení kontroly. Zde je možné nastavit kontrolu kvality výrobku. Nastavením chyby čtení měřicího přístroje se v programu vypočte chyba měřicího přístroje s chybou digitu. Jako další položky nastavení zvolíme kontrolu vyrobených dílů od nastavených odchylek nominální hodnoty (viz Obrázek 25: Nastavení odchylek). Tyto hodnoty se také ukládají do souboru a při dalším spuštění se automaticky nastaví.



Obrázek 26: Nastavení měření

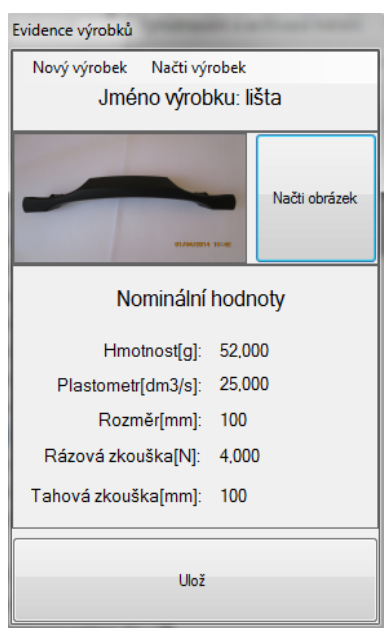


Obrázek 25: Nastavení odchylek



9.2.2 Výběr výrobku

V záložce Evidence výrobků je možné vybrat výrobek, který chce uživatel sledovat. Již s přednastavenými nominálními hodnotami a obrázkem výrobku. V této záložce je možné vytvořit i nový záznam o výrobku, kde se nastaví nominální hodnoty. Tyto hodnoty jsou uloženy do souboru ve složce Evidence výrobků. Z této složky lze výrobek opět znovu načíst. Díky tomu nemusí uživatel znovu vyplňovat údaje o měření.



Obrázek 27: Zobrazení zvoleného výrobku

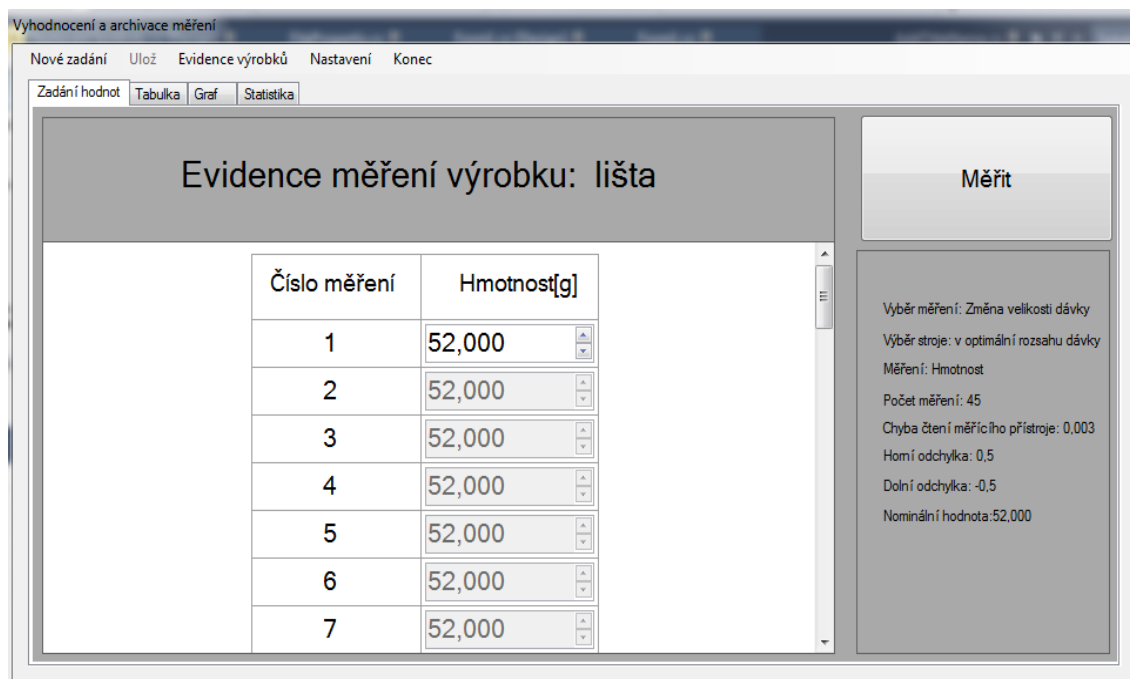
The screenshot shows a window titled 'Nový_výrobek'. It has a text input field for 'Název výrobku'. Below this is a section titled 'Nominální hodnoty' with five rows, each containing a parameter name and a numeric input field with up and down arrows: Hmotnost[g]: 0,000; Plastometr[dm3/s]: 0,000; Rozměr[mm]: 0,000; Rázová zkouška[N]: 0,000; Tahová zkouška[mm]: 0,000. At the bottom of the window is a button labeled 'Ulož výrobek'.

Obrázek 28: Zadání nového výrobku

9.2.3 Zadání hodnot

Po nastavení těchto parametrů se může přikročit k vlastnímu zadávání hodnot. Prozatím je program vytvořen na ruční zadávání, protože zadavatel v době zadání této práce o automatickém nebo poloautomatickém snímání měřených dat neuvažoval. Zadání měřených hodnot probíhá pomocí „numeric up down“, kterých se na panelu zobrazí přesně tolik, kolik bylo nastaveno v nastavení programu, nebo načteno z ini-souboru při předchozím nastavení. Při stlačení tlačítka „Měřit“ se hodnota zvýrazněného políčka načte do tabulky, grafu a vypočtou se statistické údaje. Tak to pokračuje, až do 45 měření, nebo zvoleného počtu měření v nastavení, kde se všechna naměřená data uloží do složky.



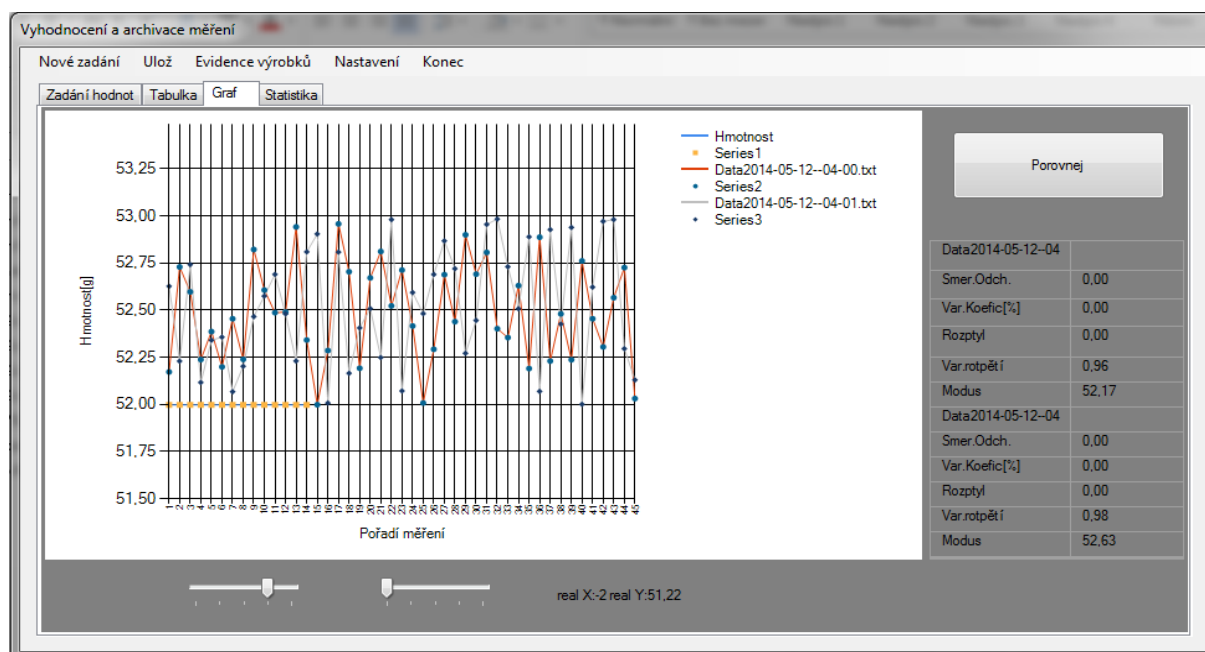


Obrázek 29: Hlavní panel programu

9.2.4 Zobrazení dat (graf, tabulka, statistika)

1) Graf

Data, vložená do pole jsou zobrazena pomocí komponent, které nabízí vývojové prostředí Visual studio. Pro potřeby vizuální kontroly dat vykreslíme hodnoty do grafu. Při pohybování myši po grafu je možné kontrolovat naměřená data pomocí bodů v grafu.



Obrázek 30: Vykreslení grafu v programu



Pomocí tlačítka „Porovnej“ je možné porovnat další měření v grafické podobě. Při vykreslování se zároveň přidají statické údaje o přidáných hodnotách.

1) Tabulka

Před zadáním hodnot do tabulek určíme statistické hodnoty (viz. Příloha C). Dalším krokem je zobrazení hodnot do tabulky. K tomu je určena „data grid view“. Funguje na jednoduchém principu vytvoření přesného počtu sloupců a řádků dle počtu měření. Vznikne zobrazovací tabulka, do které se zapíše data i s absolutními odchylkami, nejistotami měření a kontrolou kvality dle nastavených odchylek. Výlisk, který je v rámci tolerancí, se označí jako OK, v opačném případě NOK.

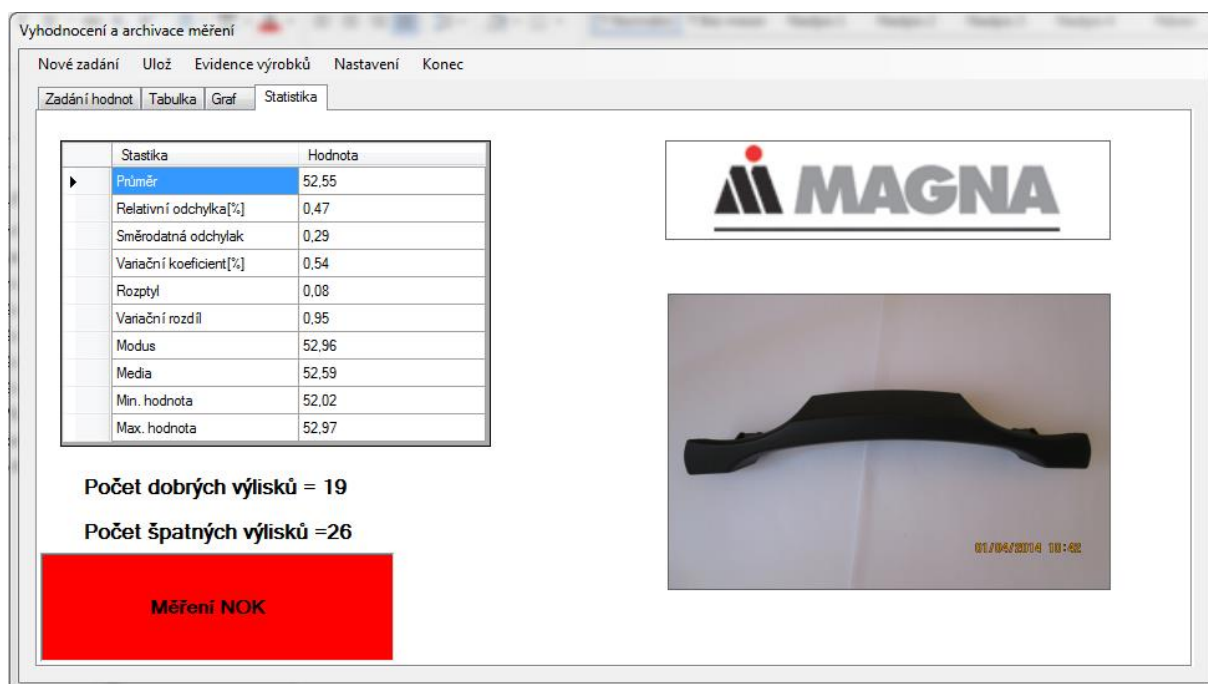
Pořadí měření	Hmotnost[g]	Absolutní odchylka	Chyba měření	Kvalita
1,00	52,96	0,42	0,01	NOK
2,00	52,60	0,06	0,01	NOK
3,00	52,96	0,41	0,01	NOK
4,00	52,46	0,08	0,01	OK
5,00	52,14	0,40	0,01	OK
6,00	52,37	0,18	0,01	OK
7,00	52,82	0,27	0,01	NOK
8,00	52,07	0,48	0,01	OK
9,00	52,44	0,10	0,01	OK
10,00	52,83	0,29	0,01	NOK
11,00	52,68	0,13	0,01	NOK
12,00	52,15	0,40	0,01	OK
13,00	52,88	0,34	0,01	NOK
14,00	52,88	0,33	0,01	NOK
15,00	52,46	0,09	0,01	OK
16,00	52,85	0,30	0,01	NOK
17,00	52,86	0,31	0,01	NOK
18,00	52,81	0,27	0,01	NOK
19,00	52,52	0,03	0,01	NOK

Obrázek 31: Záložka tabulka

2) Statistika

V záložce Statistika se zobrazí hodnoty statických údajů společně s údaji o kvalitě měření. Vypíše se počet vyrobených dílů, které se nacházejí v mezích tolerance kvality a díly které jsou naopak mimo zvolenou toleranci. Porovnáním těchto hodnot se rozhodne, zda byly vyrobené díly kvalitní či ne. Jestliže by se jeden výrobek z celého měření svými naměřenými hodnotami nevešel do zvolených tolerancí, označí se jako NOK, (stačí jeden díl), tím se panel kontroly kvality zbarví do červené s nápisem „Měření NOK“. To se v sériové výrobě nesmí stát. Po zjištění nekvalitního výrobku se na stroji musí přenastavit technologické parametry. Což znamená přerušování výroby. V opačném případě bude panel svítit zeleně s nápisem „Měření OK“





Obrázek 32: Záložka statistika

9.2.5 Uložení dat

Uložení se provádí ve dvou formátech. Při uložení ve formátu podporující Excel se do souboru ukládají naměřené hodnoty, graf a statistické údaje. K tomu byla využita knihovna, která je součástí Visual studia a to Microsoft object excel 15. Pro uložení do poznámkového bloku byla použita knihovna systém OI, která umožňuje tvoření textových souborů.



Závěr

Zpracování plastů a především pak technologie vstřikování je moderní, rychle se rozvíjející odvětví průmyslu. Celosvětové zastoupení v tomto odvětví má i firma Magna, která nese titul nadnárodního koncernu. Všechna měření byla prováděna ve výše uvedené firmě, což vzhledem k její vytíženosti provozu nebylo právě lehké. V naplněném třisměnném provozu bylo velmi náročné najít volný časový prostor pro zkoušení formy, která navíc podléhala utajení. Povolení ke zveřejnění výsledků bylo vydáno krátce před odevzdáním této práce a to za přísných bezpečnostních pravidel. Z tohoto důvodu se v bakalářské práci nesmí objevit žádný náznak o přesné podobě testovaných dílů.

Je samozřejmé, že sériová výroba bude vždy důležitější než experimenty. Ty se provádějí jen v naléhavých případech nebo při menší vytíženosti strojů a zaměstnanců. Díky vstřícnosti ze strany firmy Magna se podařilo časově skloubit přístup ke stroji a formě, ale pouze na krátkou dobu, z toho důvodu bylo získáno jen malé množství dat, ze kterých bylo při výpočtech vycházeno.

Pro experimenty práce byly přiděleny dva stroje: První od výrobce Engel s průměrem šneku 80 mm, který je přibližně deset let starý a druhý konkurenční Kraus maffei s průměrem šneku 95 mm- ten byl nasazen do výroby přibližně před dvěma lety. Mezi těmito stroji byly velké rozdíly v ovládání. Engel je více intuitivní než Krauss maffei, avšak ten se projevil při měření menšími odchylkami od nastavovaných hodnot. Je na zvážení, zda odchylky měření na stroji Engel, byly způsobeny stářím stroje, či je problém v jeho řídicím systému a konstrukci. Je velice pravděpodobné, že tyto nevyváženosti jsou dány již výrobou samotného stroje, což se projevuje samozřejmě i v ceně. Přesnější výroba je na stroji Krauss maffai, což se neodmyslitelně také odráží ve finanční náročnosti jeho pořízení.

Hlavním úkolem zadané práce bylo zjistit, zda je vstřikování pod 1D dávky šneku stabilní a je možné ho použít pro sériovou výrobu. Můžeme konstatovat, že pokud je forma naplněná ze 100% zapnutým tlakem při dotlaku, z naměřených vyplývá dat, že to možné je. Pro definitivní konstatování tohoto výroku by však bylo třeba dlouhodobých zkoušek s pravidelným měřením kvality výrobku. Jako pomůcka k měření byl navržen software Vyhodnocení a archivace měření, který je součástí práce. Jeho úkolem je kontrola, zefektivnění a zajištění jednoduché elektronické archivace. Data, která byla nasbírána, jsou pouze prvním testem před



možnou automatizací kontrolních měření. Zda se firma a její vývojové středisko, bude tímto návrhem dále zabývat, či zvolí jinou cestu ke zlepšení, je pouze na jejich uvážení.

Dalším úkolem bylo zjistit, jak se chovají výlisky při lisování formou, která není naplněná na 100% a zda by bylo reálné, aby takto vyrobený produkt prošel kontrolou kvality. Měření potvrdila, že při nedostatečně naplněné formě nelze vyrobit kvalitní výrobek. Proto v případě, že není dostatečná zásoba materiálu v násypce, měl by být stroj automaticky zastaven nebo by se měla spustit světelná signalizace. Vyloučila by se tak chyba obsluhy, která může zapomenout zkontrolovat hladinu materiálu v násypce, což má za následek, že výsledný výrobek je nekvalitní. Takovýto výrobek nemůže v žádném případě projít kontrolou kvality. Závěr těchto měření, které mi byly umožněné je, že díly, které bez problému touto kontrolou procházejí, jsou vždy vyráběny při 100% naplnění formy.

Původním záměrem bylo program propojit s co nejvíce měřicími přístroji. Bohužel vytíženost strojů se projevila i v kontrolních střediscích, tím pádem nebyl dostatečný prostor pro zkoušky měření. Z tohoto důvodu je program v pracovní verzi jen pro ruční zadávání hodnot. Software je již koncipován tak, že pokud by se našel časový prostor na zkoušky komunikace mezi programem a měřicími přístroji, které jsou ve firmě k dispozici a mají v sobě zabudované sériové rozhraní, pak konečná úprava programu by se dala realizovat v horizontu několika dní. Po menších úpravách by se již dalo uvažovat o zařazení programu do provozu, tím by se usnadnil a zefektivnil celý výrobní cyklus. Přehled o kvalitě vyrobených dílů by tím pádem mohl být stále k dispozici. Samozřejmě bude se muset vzít v úvahu, že nasazení nového programu by vyžadovalo sérii zkoušek, aby bylo zajištěno bezproblémové zařazení do výrobního cyklu. Náklady na řešení pro jedno měřicí stanoviště by byly relativně malé – cca 2500Kč.



Použitá literatura

- [1] Technologie II: rozdělení technologií na zpracování plastů. *Rozdělení technologií na zpracování plastů* [online]. 2009 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/02.htm
- [2] Tvarování. In: *Tvarování* [online]. 2000 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z:
http://www.utb.cz/file/36176_1_1/.
- [3] Recyklace plastů. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-01-04]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Recyklace_plast%C5%AF
- [4] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [5] KSP: TUL. *KSP: TUL* [online]. 2001 [cit. 2013-10-21]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/
- [6] Topné těleso tryskové. In: *Topné těleso tryskové* [online]. 2013 [cit. 2014-01-07]. Dostupné z:
<http://www.bamas-elektro.cz/eshop1/prvky-topeni-a-chlazení/494-tryskove-topne-teleso-123.html>
- [7] *Vlastnosti vstřikovacích jednotek* [online]. 2005 [cit. 2014-01-07]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vlastnosti-vstrikovacich-jednotek.html>
- [8] *Tvářené díly z kovů a plastů* [online]. 2010 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z:
http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TDK_PR_02_CZE_Ausperger_Stroje_pouzivane_pro_technologie_zpracovani_plastu.pdf
- [9] *Plně elektrické stroje ENGEL* [online]. 2008 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z:
http://design.georgius.cz/sites/infocube/pp/engel_pp082.pdf
- [10] *Engel představil novou řadu plně elektrických strojů e-mac* [online]. 2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/engel-predstavil-novou-radu-plne-elektrickych-stroju-e-mac_21339.html
- [11] KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Vyd. 3. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006, 250 s. ISBN 80-737-2133-3.



- [12] POPELAK, Jan. *NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVESU Z PLASTU* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-11-26]. ISBN Jan; Popelka. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=19270&aid_redir=1. Diplomová. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.
- [13] *Viskoelastické vlastnosti*. Zlín, 2010. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_06.pdf
- [14] GARGULÁK, Tomáš. *Viskoelastická chování materiálu* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/12476/gargul%C3%A1k_2010_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Martin Vašina Ph.D.
- [15] TŮMA, Martin. *KONCEPČNÍ NÁVRH PROJEKTU VZOROVÉ LISOVNY PLASTŮ* [online]. Brno, 2010 [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/15774/2010_DP_Tuma_Martin_76024.pdf?sequence=1. Diplomová. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. BOHUMIL KANDUS.
- [16] *Degradace plastů* [online]. 2000 [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://vyuka.zmoravec.net/download/koroze-plastu.pdf>
- [17] *Plasty*. Liberec, 2010. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xU0AsJP8beMJ:www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/PLASTY_podklady.ppt+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [18] Hodnocení nadmolekulární struktury plastů. *Hodnocení nadmolekulární struktury plastů* [online]. 2007 [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Morfologie.pdf>
- [19] *Statistika* [online]. 2010 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://www.stavskola.cz:8091/granty/prezentace/statistika.ppt>.
- [20] Rozptyl (statistika). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl_\(statistika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl_(statistika))



- [21] Směrodatná odchylka. In: *Směrodatná odchylka* [online]. 1999 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z:
<http://www.iscs.cz/files/documents/infocentrum/Jine/ODCHYLKA/Smerodatna-odchylka11.5.doc>
- [22] Current Directions. *Current Directions* [online]. 2013 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z:
<http://www.currentdirections.com/hardware/toledo/pg5002-s-deltarange.html>
- [23] Mettler Toledo. In: *Mettler Toledo* [online]. 2002 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z:
<http://www.geminibv.nl/labware/mettler-pg5002-balans/mettler-pg-s-manual-eng.pdf>
- [24] *KOMUNIKAČNÍ OVLADAČ A SIMULÁTOR VÁHY METTLER TOLEDO VE STEP7* [online]. Brno, 2012 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z:
<https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/17293> Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně.



Příloha A- Seznam naměřených hodnot a statistických údajů



Vstřikování pod 1D velikostí dávky šneku

Tabulka 6: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 20%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	12,07	12,51	12,53	12,74	12,15	12,51	12	12,88	13,35	12,7
Absolutní odchylka	0,47	0,03	0,01	0,20	0,39	0,03	0,54	0,34	0,81	0,16
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 7: statistika při 20% naplnění formy

Aritmetický průměr	12,44
Median	12,51
Modus	12,51
Min. hodnota	12,00
Max. hodnota	12,88
variačné rozpětí	0,88
Průměrná abs. odchylka	0,24
Relativní odchylka [%]	1,94
Rozptyl	0,08
Směrodatná odchylka	0,28
Variační koeficient [%]	2,26



Tabulka 8: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 40%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	21,07	19,2	20,18	18,57	19,15	18,52	18,6	18,72	19,47	18,84
Absolutní odchylka	1,84	0,03	0,95	0,66	0,08	0,71	0,63	0,51	0,24	0,39
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 9: statistika při 40% naplnění formy

Aritmetický průměr	19,23
Median	19,00
Modus	NENÍ
Min. hodnota	18,52
Max. hodnota	21,07
variačné rozpětí	2,55
Průměrná abs. odchylka	0,60
Relativní odchylka [%]	3,14
Rozptyl	0,61
Směrodatná odchylka	0,78
Variační koeficient [%]	4,06



Tabulka 10: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 60%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	24,21	23,75	23,34	21,67	22,44	22,16	21,9	23,06	22,65	22,94
Absolutní odchylka	1,40	0,94	0,53	1,14	0,37	0,65	0,91	0,25	0,16	0,13
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 11: statistika při 60% naplnění formy

Aritmetický průměr	22,81
Median	22,80
Modus	NENÍ
Min. hodnota	21,67
Max. hodnota	24,21
Variačné rozpětí	2,54
Průměrná abs. odchylka	0,65
Relativní odchylka [%]	2,84
Rozptyl	0,59
Směrodatná odchylka	0,77
Variační koeficient [%]	3,37



Tabulka 12: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 85%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	29	27,14	27,65	27,01	27,68	27,04	26,93	27,08	27,08	27,24
Absolutní odchylka	1,62	0,24	0,27	0,37	0,30	0,34	0,45	0,31	0,31	0,15
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 13: statistika při 85% naplnění formy

Aritmetický průměr	27,39
Median	27,11
Modus	27,08
Min. hodnota	26,93
Max. hodnota	29,00
Variačné rozpětí	2,07
Průměrná abs. odchylka	0,43
Relativní odchylka [%]	1,59
Rozptyl	0,35
Směrodatná odchylka	0,59
Variační koeficient [%]	2,16



Tabulka 14: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy ze 100%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	56,16	56,16	56,16	56,18	56,16	56,17	56,16	56,15	56,14	56,14
absolutní odchylka	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 15: statistika při 100% naplnění formy

Aritmetický průměr	56,16
Median	56,16
Modus	56,16
Min. hodnota	56,14
max. hodnota	56,18
variačné rozpětí	0,04
Průměrná abs. odchylka	0,01
Relativní odchylka [%]	0,02
rozptyl	0,00014
směrodatná odchylka	0,01
variační koeficient [%]	0,02



Vstřikování v optimálním rozsahu dávky

Tabulka 16: Vyhodnocení hmotnosti pro 20% naplnění formy

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	11,83	11,75	11,24	11,28	11,28	11,49	11,62	11,62	11,58	11,39
absolutní odchylka	0,32	0,24	0,27	0,23	0,23	0,02	0,11	0,11	0,07	0,12
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 17: statistika při 20% naplnění formy

Aritmetický průměr	11,51
Median	11,54
Modus	11,28
Min. hodnota	11,24
max. hodnota	11,83
variačné rozpětí	0,59
Průměrná abs. odchylka	0,17
Relativní odchylka [%]	1,49
rozptyl	0,04
směrodatná odchylka	0,20
variační koeficient [%]	1,70



Tabulka 18: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 40%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	20,74	17,35	20,72	17,32	20,52	17,37	20,38	17,29	20,68	17,68
absolutní odchylka	1,74	1,66	1,72	1,69	1,52	1,64	1,38	1,72	1,68	1,33
Chyba měření (\pm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 19: statistika při 40% naplnění formy

Aritmetický průměr	19,01
Median	19,03
Modus	NENÍ
Min. hodnota	17,29
max. hodnota	20,74
variačné rozpětí	3,45
Průměrná abs. odchylka	1,60
Relativní odchylka [%]	8,43
rozptyl	2,59
směrodatná odchylka	1,61
variační koeficient [%]	8,47



Tabulka 20: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 60%

Pořadí měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	22,51	20,15	23,27	21,26	23,49	20,45	23,46	20,22	22,95	19,85
absolutní odchylka	0,75	1,61	1,51	0,50	1,73	1,31	1,70	1,54	1,19	1,91
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 21: statistika při 60% naplnění formy

Aritmetický průměr	21,76
Median	21,89
Modus	NENÍ
Min. hodnota	19,85
max. hodnota	23,49
variačné rozpětí	3,64
Průměrná abs. odchylka	1,38
Relativní odchylka [%]	6,32
rozptyl	2,07
směrodatná odchylka	1,44
variační koeficient [%]	6,61



Tabulka 22: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 85%

Pořadí	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	26,94	26,44	27,28	27,59	27,54	28,1	28,69	28,53	28,67	28,96
absolutní odchylka	0,93	1,43	0,59	0,28	0,33	0,23	0,82	0,66	0,80	1,09
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 23: statistika při 85%

Aritmetický průměr	27,87
Median	27,85
Modus	NENÍ
Min. hodnota	26,44
max. hodnota	28,96
variačné rozpětí	2,52
Průměrná abs. odchylka	0,72
Relativní odchylka [%]	2,57
rozptyl	0,64
směrodatná odchylka	0,80
variační koeficient [%]	2,88



Tabulka 24: Vyhodnocení hmotnosti pro naplnění formy z 100%

Pořadí	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Hmotnost [g]	53,66	53,65	53,65	53,65	53,65	53,65	53,65	53,65	53,64	53,64
Absolutní odchylka	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Chyba měření (±)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabulka 25: statistika při 100% naplnění formy

Aritmetický průměr	53,65
Median	53,65
Modus	53,65
Min. hodnota	53,64
Max. hodnota	53,66
variačné rozpětí	0,02
Průměrná abs. odchylka	0,00
Relativní odchylka [%]	0,01
Rozptyl	0,00
Směrodatná odchylka	0,01
Variační koeficient [%]	0,01



Příloha B - Parametry ovlivňující vlastnosti výlisku



Tyto parametry se rozdělují na dvě části. První částí jsou konstrukční parametry, jejichž problematiku je nutné řešit ještě před začátkem výroby, neboť je už nelze měnit a pokud by k tomu muselo dojít, tak by to bylo velice složité a finančně náročné. Mezi tyto parametry patří například: velikost dutiny formy i s ohledem na dosmrštění³, tvar a délka vtokového systému, chladicí kanálky ve formě a mnoho dalších parametrů, kterými se dá ovlivnit konečný výrobek. Druhá část obsahuje takzvané technologické parametry, ty se dají ovlivňovat i během výroby. Tyto fyzikální veličiny si probereme v této kapitole podrobněji. Pokusíme se uvést do souvislosti jejich vliv na vlastnosti plastických hmot.

1) Teplota vstřikování

Vstřikovací teplota se odvíjí od použitého materiálu. Doporučené nastavení teplot na všech teplotních pásmech je u každého materiálu dáno od výrobce. Ve vstřikování platí pravidlo snižující se teploty od trysky, které má i určité výjimky používání u speciálního vstřikování. Na nastavení teploty, má vliv jak již bylo zmíněno, samotný materiál, teplota formy, nastavení teplot jednotlivých topných pásů, velikost dávky. „Nastavení vstřikovací teploty má vliv na celý vstřikovací cyklus, teplota by se měla pohybovat ve střední nebo nižší střední teplotě rozmezí doporučené od výrobce.“[4] Zvyšování teploty vstřikování má za důsledek „Zmenšení tlakových ztrát v dutině formy, snížení vlivů studených⁴ spojů na jakost povrchu a mechanické vlastnosti, zvýšení tepelného zatížení, při překročení povolených hodnot s dobou setrvání v komoře, může způsobit degradaci⁵ materiálu.“[4] „S rostoucí teplotou přechází chování určitého polymeru od jednoho typu k druhému. Na obrázku 19 je znázorněn vliv teploty v závislosti na napětí a deformaci materiálu tohoto polymeru. Při nejnižší teplotě T_1 se polymer chová elasticky až do teploty Křehnutí⁶ T_B . Od teploty křehnutí do teploty skelného přechodu⁷ T_G se polymer chová plasticky (T_2) a nad teplotou skelného přechodu se chová elasticky.“[14]

³ Dosmrštění – jev při vstřikování, kdy výlisek mění svůj rozměr i několik hodin po vyjmutí z formy, proto se musí navrhovat formy i s ohledem na smrštění.

⁴ Studený spoj – vada výrobku, kde se spojí dvě a více čela taveniny a vytvoří spoj, který je náchylnější na mechanické poškození.

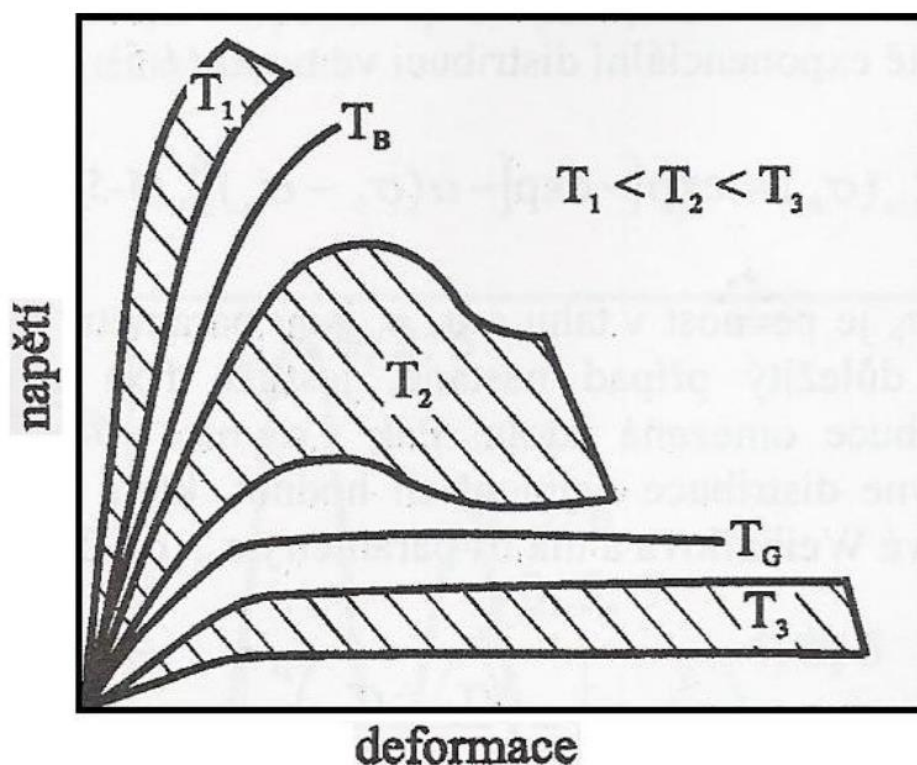
⁵ Degradace – změna struktury a vlastností polymeru způsobená rozkladnými reakcemi

⁶ Teplota křehnutí - Přechodová teplota plastů, při níž se látka stává křehkou a při rázové zkoušce se porušuje křehkým lomem.[17]

⁷ Teplota skelného přechodu - Přechodová teplota. Při ní se polymer nachází ve stavu sklovitém – je tvrdý, křehký, má vysoký modul pružnosti.[17]



Tato práce se zabývá podrobněji viskoelastickými vlastnostmi, popíšeme si tedy jaký vliv má zvyšující se teplota na viskoelastické vlastnosti. „S rostoucí teplotou přechází chování určitého polymeru od jednoho typu k druhému. Na obrázku 19 je znázorněn vliv teploty v závislosti na napětí a deformaci materiálu tohoto polymeru. Při nejnižší teplotě T_1 se polymer chová elasticky až do teploty křehnutí⁸ T_B . Od teploty křehnutí do teploty skelného přechodu⁹ T_G se polymer chová plasticky (T_2) a nad teplotou skelného přechodu se chová elasticky.“ [20]



Obrázek 33: Závislost napětí a deformace u určitého polymeru na teplotě [14]

⁸ Teplota křehnutí - Přechodová teplota plastů, při níž se látka stává křehkou a při rázové zkoušce se porušuje křehkým lomem.[23]

⁹ Teplota skelného přechodu - Přechodová teplota. Při ní se polymer nachází ve stavu sklovitém – je tvrdý, křehký, má vysoký modul pružnosti.[23]



2) Rychlost čela taveniny

Při plnění formy musí být zachována konstantní rychlost čela taveniny ve všech průřezích tokových kanálů. Neboť rychlost čela taveniny není možné přesně měřit, používáme pro kontrolu rychlost axiálního pohybu šneku. „*Při příliš nízkém nastavení rychlosti se může stát, že na výrobku vzniknou studené spoje nebo povrchové vady. Naopak při vysoké rychlosti může u náročnějších výrobků v důsledku vysokého smykového namáhání vést až k místnímu termickému rozkladu.*“ [4]

3) Vstřikovací tlak

Tento technologický parametr je úzce spojen s parametrem rychlosti taveniny. Protože každý vstřík je originální, neexistuje v praxi jednoznačná metoda určení vstřikovacího tlaku. Nastavený tlak musí mít takovou úroveň, která dokáže požadovanou rychlost plnění realizovat i přes odpory (změny průřezu, překážky v toku taveniny atd.). Tento parametr se liší dle velikosti stroje, pro střední stroje se vstřikovací tlak pohybuje od 30÷150 MPa a u větších strojů je přibližně 300MPa.

4) Teplota formy

Tento parametr úzce souvisí s $T_{vstř}$, protože teplota formy ovlivňuje zabíhavost hmoty, tím i rychlost plnění formy, chlazení výrobků a také i délku celého vstřikovacího cyklu a dále určuje konečnou orientaci molekul neboli nadmolekulární strukturu, která ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobku. „*Při tuhnutí plastů ve formě se tvoří tzv. sférolit. Jedná se o shluk lamel¹⁰, které vycházejí ze společného centra a rozrůstají se do všech stran. Celý plast ve formě nezkrystalizuje, proto se určuje stupeň krystalinity, která udává procento zkrystalizovaného plastu. Obecně lze říci, že s rostoucí teplotou formy, klesá tloušťka povrchové vrstvy vstřiku. (velikost, houževnatost a orientace sférolitu). Sférolity vzniklé za různých teplot se mohou podstatně lišit svojí dokonalostí, velikostí a počtem. Toto vše pak ovlivňuje optické a zejména pak mechanické vlastnosti výrobku. Platí tedy, čím hrubozrnnější sférolitický materiál, tím křehčí výrobek.*“ [18] Teplota formy se u standartních plastů nastavuje okolo: $T_F = 30-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

¹⁰ Lamela – druh nadmolekulární struktury krystalických plastů



Příloha C - Základy statistiky



Pro lepší porovnání výsledků bude použita statistika a především pak její základy. Na jednotlivých členech bude vysvětleno jejich využití a princip výpočtu. Všechny vysvětlené statistické koeficienty se následně využijí k porovnání stability vstřikování pod 1D šneku.

1) Aritmetický průměr (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Rovnice 10: Aritmetický průměr [19]

2) Medián (\tilde{x})

„Medián je prostřední hodnota ze souboru srovnaného dle velikosti, takže přesně polovina hodnot je větších než medián a polovina menších. V případě sudého počtu hodnot je medián aritmetický průměr dvou prostředních hodnot.“ [18]

3) Modus (\hat{x})

Modus je nejčastěji vyskytující se hodnota v měření.

4) Maximum a minimum

Minimum a maximum, jak již název říká, je nejmenší a největší naměřená hodnota v souboru.

5) Variační rozpětí (R)

Variační rozpětí je rozdíl mezi maximem a minimem. $R = \max - \min$

6) Absolutní odchylka (d_i)

Absolutní odchylka udává rozdíl v absolutní hodnotě mezi jednotlivými naměřenými hodnotami a jejich průměrem.

$$d_i = |x_i - \bar{x}|$$

Rovnice 11: Absolutní odchylka [19]



7) Průměrná absolutní odchylka (\bar{d})

Absolutní odchylka je aritmetický průměr všech absolutních odchylek.

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}$$

Rovnice 12: Průměrná absolutní hodnota [19]

8) Relativní odchylka ($d\%$)

Určuje procentuální podíl mezi průměrnou absolutní odchylkou a aritmetickým průměrem zjištěných dat.

$$d\% = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} (\cdot 100 \%)$$

Rovnice 13: Relativní odchylka [19]

9) Rozptyl (S^2)

„Rozptyl je definován jako střední hodnota kvadrátů odchylek od střední hodnoty.“ [21]

$$S^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_n - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Rovnice 14: Rozptyl [19]



10) Směrodatná odchylka (S)

„Směrodatná odchylka je jednou z nejpoužívanějších měr. Vyjadřuje rozptyl hodnot kolem střední hodnoty, tj. vypovídá o tom, jak se hodnoty od této střední hodnoty (průměru) liší, resp. jak hustě jsou kolem tohoto průměru seskupeny.“[21]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

Rovnice 15: Směrodatná odchylka[19]

11) Variační koeficient (r)

„Variační koeficient je obdoba relativní odchylky, vypočítává se však ze směrodatné (nikoliv průměrné absolutní) odchylky. Vyjadřuje poměr směrodatné odchylky a průměru, zpravidla se vyjadřuje v %.“[19]

$$r = \frac{s}{\bar{x}} (\cdot 100 \%)$$

Rovnice 16: Variační koeficient[19]



Příloha D – Obsah přiloženého CD



- Text bakalářské práce
 - Bakalarska_prace_2014_Michal_Filip.pdf
 - Bakalarska_prace_2014_Michal_Filip.docx
- Naměřené hodnoty
 - Namerená_data.xlsx
- Vyhodnocení a archivace měření (aplikace)
 - Vyhodnoceni_a_achivace_mereni.exe
 - Testovací data
 - Testovací data ve formátu *.txt (pro zjištění správného chodu programu)
 - Naměřená data
 - Naměřená data ve formátu (*.xlsx, *.txt)
 - Properties
 - Ini- soubory pro ukládání dat z programu

